FUTURAS DIREÇÕES EM SIGS: O QUE OS USUÁRIOS DEVEM ESPERAR DOS NOVOS SISTEMAS

GERALDO ZIMBRÃO DA SILVA[1]
JANO MOREIRA DE SOUZA[2]

[1]Doutorando e [2]Professor Adjunto
Programa de Engenharia de Sistemas e Computação - PESC
Coordenação dos Programas de Pós-graduação em Engenharia - COPPE
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ
Caixa Postal 68511, Rio de Janeiro, RJ, CEP: 21945-970
email: zimbrao@cos.ufrj.br, jano@cos.ufrj.br

Resumo. Existem atualmente no Mercado diversos softwares para desenvolvimento de Sistemas de Informação Geográfica que utilizam para manipulação de seus dados Sistemas de Gerência de Banco de Dados Relacionais. Os milhares de Sistemas de Informação Geográfica desenvolvidos sobre estas plataformas possuem uma vasta gama de requisitos ainda não atendidos, ou que o foram de forma precária. Além disso, uma outra série de requisitos têm de ser implementados pelos desenvolvedores das aplicações por não estarem disponíveis como funcionalidades oferecidas por tais pacotes.

Esse trabalho apresenta alguns dos requisitos para os quais existe forte demanda e que estão em vias de serem contemplados, tais como a dimensão temporal, integração de SIG com CAD, SIGs em três dimensões e a tecnologia de orientação a objetos. Podemos afirmar que esse ou aquele aspecto será tratado seja por que já existem anúncios de empresas, ou seja por que a pesquisa em tais áreas está atingindo maturidade suficiente para tanto. Assim, veremos alguns tópicos que dizem respeito ao quê os usuários podem esperar dos novos sistemas em um futuro próximo.

Abstract. *Nowadays there are many Geographical Information Systems development softwares built on top of Relational DBMSs. Thousands of Geographical Information Systems developed using these tools present a wide range of requirements not well resolved or not addressed yet. Furthermore, the application developers must implement another set of requirements not available on these softwares.*

This work presents some of the most needed requirements that have good chances of beeing adressed sooner. They are the temporal dimension, CAD-GIS integration, three dimensional GIS and object oriented technology. We can assure that these requirements will be addressed because of industry announcements or academic research maturity in these areas. Thus we will see some issues that users can expect to appear in systems in near future.

1. INTRODUÇÃO

Existem atualmente no Mercado diversos softwares para desenvolvimento de Sistemas de Informação Geográfica que utilizam para manipulação de seus dados Sistemas de Gerência de Banco de Dados Relacionais. Os milhares de Sistemas de Informação Geográfica desenvolvidos sobre estas plataformas possuem uma vasta gama de requisitos ainda não atendidos, ou que o foram de forma precária. Além disso, uma outra série de requisitos têm de ser implementados pelos desenvolvedores das aplicações por não estarem disponíveis como funcionalidades oferecidas por tais pacotes.

Cenário pior surge quando se compara o estado da arte em SIGs produzidos pelos ambientes acadêmicos e os produtos comercialmente disponíveis. Basta citar, por exemplo, um dos mais conhecidos e utilizados sistemas, o ARC/INFO. Sua arquitetura dual é definitivamente considerada obsoleta

quando comparada com as recentes pesquisas em direção a uma arquitetura integrada de SIG. É necessário portanto acelerar o processo de transferência de tecnologia da pesquisa acadêmica em SIGs para a indústria e o usuário em geral.

Esse trabalho está dividido em secões que abordam os seguintes tópicos: Incorporação da Dimensão Temporal, Integração dos SIGs com CAD, Novos Tipos de Mapas, Orientação para Objetos e finalmente a Conclusão.

2. INCORPORAÇÃO DA DIMENSÃO TEMPORAL

Diversas aplicações novas na área de SIG empregam conceitos temporais, tais como: controle de meio-ambiente, estudos costeiros, previsão de tempo, acompanhamento de processos de longo prazo espacialmente dispersos, etc. No entanto, a dimensão temporal não está ainda plenamente incorporada a nenhum SIG disponível comercialmente, o que obriga os desenvolvedores a implementar sempre uma camada temporal sobre SIGs atemporais.

Esse problema se torna mais complicado quando observamos que não temos ainda um padrão definido para um banco de dados temporal convencional, que trate apenas dos atributos não geográficos. No entanto, diversos protótipos, tanto de bancos de dados temporais como de SIGs temporais, têm sido desenvolvidos nos ultimos anos em diversas universisdades e centros de pesquisa ao redor do mundo, indicando um certo amadurecimento dos conceitos envolvidos e da tecnologia necessária.

2.1 Origens

As informações temporais em SIGs convencionais são tratadas como parte dos metadados, ou seja, descrevem os dados, não sendo portanto parte efetiva presente na informação em si. Pode-se comprovar esse fato observando a representação da dimensão temporal em um SIG convencional: em geral, usam-se camadas (*layers*) nomeadas segundo alguma convenção que represente a sua data de aquisição ou validade. Essa abordagem, conhecida como modelo de instantâneos (*snapshot model*) permite a solução de alguns problemas simples, no entanto deixa a desejar pelos seguintes motivos: o deseperdício de espaço de armazenamento ao se replicar várias vezes toda uma coleção de dados para uma série temporal de determinada região, replicando inclusive os dados que não se modificaram; a ausência de uma semântica temporal, o que torna difícil a expressão de consultas que envolvem dados temporais; as análises temporais têm de ser implementadas levando-se em conta as convenções feitas para cada conjunto de dados; em geral é inviável ter uma resolução fina do tempo, pois isso implicaria em um volume de dados muito grande; a detecção de mudanças envolve operadores visuais que em geral consomem muito tempo identificando as estruturas; em geral, não é representada a correlação entre eventos e mudanças [LANG93,CAND95].

2.2 Modelos Temporais Propostos para SIG

Além do modelo de instantâneos, [CAND95] identifica quatro outros modelos temporais para SIGs, em ordem de poder de representação e expressão: modelo de atualizações, modelo de combinação espaço-tempo; modelo integrado de dados; modelo 3D/4D.

O modelo de atualizações pode ser sintetizado como possuindo um estado base e um conjunto de atualizações, o que permitiria gerar os estados subsequentes. Novas inmformações são armazenadas apenas quando existem modificações, e cada atualização é representada como uma lista de adição, modificação ou remoção de propriedades. Grosso modo, este modelo é semelhante ao modelo de instantâneos porém com um uso mais inteligente da capacidade de armazenamento: guarda-se apenas a diferença, ou seja, as mudanças, entre uma camada e outra. É adequado tanto para a representação raster quanto para a representação vetorial.

O modelo de combinação espaço-tempo é semelhante ao modelo de atualizações (na versão vetorial), exceto pelo fato de que tanto as propriedades passadas como as do presente são representadas na mesma camada. Esse modelo é bastante compacto, porém apresenta um problema relativo à interseção das diferentes propriedades, que vão se tornando cada vez menores a medida em que a dimensão temporal varia – ou seja, quando um polígono varia um pouco em suas fronteiras, muitos pequenos polígonos surgem como resultado da interseção do novo com o velho polígono. Teoricamente, o número dos pequenos polígonos resultantes dessa interseção pode ser muito grande.

O modelo integrado de dados prevê a combinação dos outros modelos, dentro das limitações impostas pela tecnologia atual. Basicamente, é proposta uma representação da entidade, sua posição e sua coordenada temporal. Cada um dessas representações pode ser raster ou vetorial, e o sistema deve se encarregar de tratá-las de maneira uniforme.

O modelo 3D/4D é o que se pode chamar de "verdadeiro" SIG temporal. Nesse modelo, todo ponto no espaço deve possuir uma coordenada temporal, daí o seu nome: dados em duas/três dimensões espaciais teriam mais uma coordenada, dessa vez temporal, resultando em dados 3D/4D. Com esse modelo, é possível representar o tempo em SIG de uma maneira uniforme e integrada, na granularidade desejada para cada entidade. Como a dimensão temporal faz parte da estrutura de dados, nenhuma programação adicional será necessária para lidar com a mesma – o que implicará em uma linguagem de consulta com operadores temporais.

Finalmente, vale observar que a incorporação da semântica temporal nos modelos apresentados nessa subseção representa um grande avanço em relação ao modelo de instantâneos, pois possibilitará a realização de consultas verdadeiramente temporais. A medida em que começarem a sair do meio acadêmico para a indústria, os SIGs temporais devem incorporar em suas linguagens de consultas cada vez mais e mais operadores espaciais e temporais.

2.3 Funcionalides

As funções fundamentais de um SIG temporal são inventório, análise, atualização, controle de qualidade, *scheduling* e visualização [LANG93]:

- Inventório: armazenar uma descrição completa da área em estudo, e manter a correspondência das mudanças no mundo real.
- Análise: explicar, explorar ou prever os elementos componentes e os processos em andamento contidos em uma região.
- Atualização: repor informações desatualizadas por informações recentes, mantendo versões dos dados.
- Controle de qualidade: avaliar se os dados novos estão logicamente em acordo com as versões e estados anteriores.
- *Scheduling*: identificar ou antecipar estados limites da base de dados, o que pode disparar respostas predefinidas do sistema.
- Visualização: gerar mapas estáticos ou dinâmicos, ou tabelas, sumarizando informações sobre processos temporais em andamento em uma determinada região.

2.4 Protótipos

Embora não haja atualmente nenhum sistema realmente espaço-temporal disponível comercialmente, existem vários protótipos desenvolvidos ou em desenvolvimento. Dentre eles, podemos citar o PolyTRIM [HOIN94], e o sistema HIST [JUNG94]. Ambos os sistemas posuem aspectos temporais incorporados a dados geográficos, em particular, sobre pesquisas realizadas em centros históricos de cidades (Montreal, Canadá e Darmstadt, Alemanha).

Tais sistemas implementam grande parte das funcionalidades listadas na subseção anterior. Em particular, diversos tipos de análises podem ser feitas em tais sistemas, comparando-se dados de diversas épocas. Esses protótipos servem para nos apontar o que podemos esperar dos SIGs a medida em que a dimensão temporal for definitivamente incorporada nos sistemas vindouros.

3. INTEGRAÇÃO DOS SIGS COM CAD

Enquanto a maioria dos SIGs atuais se limita a representar duas dimensões da realidade, cada vez mais domínios de aplicações requerem SIGs que representem três dimensões: geologia, engenharia, planejamento civil e militar, etc. Essas aplicações não só fazem uso da modelagem e visualização dos dados em 3D como também manipulam esses dados. Dessa forma está surgindo um novo tipo de SIG: são os chamados SIG 3D.

É importante notar a diferença entre essa nova geração de SIGs e a anterior no tratamento dado à terceira dimensão, ou seja, a altitude. Os SIGs tradicionais usualmente representam duas dimensões espaciais, permitindo a possibilidade de um atributo do tipo altitude **z** para cada posição (x, y). Já os SIGs 3D tratam as três dimensões (x, y, z) como atributos espaciais, o que significa que o sistema lida diretamente com a altitude – há um significado semântico para tal inormação, não sendo ela um mero atributo. Dessa forma, rotinas para cálculo de distâncias, áreas e volumes podem envolver as três coordenadas automaticamente, não necessitando de nenhuma rotina especial desenvolvida pelo usuário.

Os Sistemas de Informação Geográfica tridimensionais atualmente em desenvolvimento são baseados sobretudo em sistemas de CAD. Apesar de terem realmente muito em comum, pois ambos lidam com objetos tridimensionais, podemos apontar algumas diferenças básicas entre os sistemas de CAD e de SIG 3D; particularmente no tipo de dados e na realização de consultas. Como exemplo de sistema, podemos citar o **AutoCAD Map**, da AutoDesk, que incorpora funções de SIG a um sistema de CAD [GISW96].

No entanto, os SIGs 3D apresentam algumas desvantagens: (1) a massa de dados tende a aumentar muito, (2) os cálculos geométricos em 3D são mais complexos do que em 2D, e (3) dados tridimensionais são mais difíceis de serem obtidos. Em particular, como é apontado em [CAMB93], a imprecisão é maior quando se trata de dados 3D.

3.1 Origens e Restrições

Dados espaciais são dados 3D. Consequentemente, informações sobre a altitude e a elevação são perdidos em mapas 2D. Existem diversas soluções intermediárias entre 2D e 3D SIG. No entanto, tais soluções em geral não representam diretamente três dimensões mas apenas duas dimensões sendo a altitude representada como um atributo, tal que z = f(x ,y), onde **f** é uma função verdadeira: para cada par (x, y) existe apenas um valor **z**. Tanto os mapas 2.5D como DTM (*digital terrain model* – modelo digital do terreno) podem ser enquadrados em tais soluções [CAMB93].

Embora os SIGs 2.5D sejam capazes de representar certas ocorrências relevantes, como pontes e viadutos, não são capazes de representar por exemplo arcos, nem nenhuma entidade vazada. Modelos de 2.5 dimensões são capazes apenas de aproximar vagamente as entidades, o que pode ser insuficiente para aplições como navegação, modelos geológicos do subsolo, mapeamento de sítios arqueológicos, e certamente inviabiliza aplições que envolvem a visualização de paisagens: arquitetura urbana [JUNG94,HOIN95], por exemplo, conforme podemos ver na Figura 1.

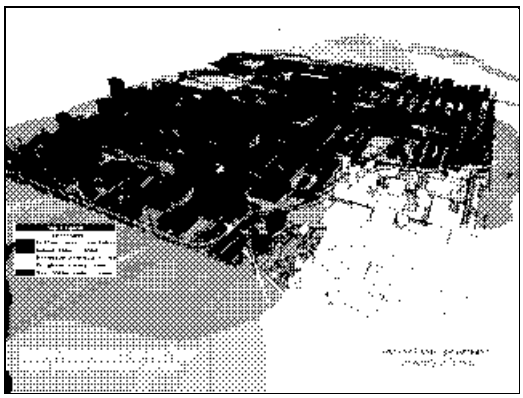

Figura 1

3.2 SIGs 3D e Sistemas de CAD

Os Sistemas de Informação Geográfica tridimensionais atualmente em desenvolvimento são baseados sobretudo em sistemas de CAD. Apesar de terem realmente muito em comum, pois ambos lidam com objetos tridimensionais, podemos apontar algumas diferenças básicas entre os sistemas de CAD e de SIG 3D:

a) os mapas tridimensionais em um SIG tendem a ter essencialmente a forma de uma laje fina, no sentido de que a sua amplitude vertical é bem menor do que a contrapartida horizontal. Ou seja, as maiores distâncias verticais ao longo do eixo **z** serão bem menores do que as maiores distâncias horizontais ao longo dos eixos (x, y).

b) SIGs possuem uma caracterísitica descritiva bem mais evidente, até mesmo pela forma de se coletar dados. E tal característica é válida não só para entidades naturais tais como florestas e montanhas como também para construções, que não podem nem devem ser decompostas em sólidos primitivos.

c) SIGs lidam com objetos que possuem inúmeros atributos näo-espaciais.

d) Embora SIGs representem sólidos, superfícies tridimensionais surgem com uma frequência bem maior.

e) SIGs lidam com objetos que possuem fronteiras regulares (construções), irregulares (acidentes geográficos) e difusas (culturas, florestas, pântanos). Já sistemas de CAD são projetados para lidarem com objetos cujas fronteiras säo regulares e bem definidas.

As ferramentas de CAD oferecem funcionalidades muito interessantes do ponto de vista da criação, manutenção e visualização de mapas. Esse fato pode ser comprovado pela grande quantidade de usuários de SIGs que utilizam sistemas CAD para tais atividades.

Porém, devido à falta de integração entre os ambientes, os usuários se vêem forçados constantemente a: exportar os dados do SIG, eventualmente convertendo o formato, importar os dados para um sistema de CAD, realizar as operações desejadas, exportar os dados alterados, possivelmente convertê-los, e finalmente importar os dados de volta para o SIG. Claro está que tal abordagem, além de muito tediosa, não mantém nenhum controle sobre os dados: versionamento, concorrência, qualidade, recuperação de falhas, restrições de integridade e outras funcionalidades básicas são perdidas ou feitas manualmente.

Em um ambiente que integre as capacidades de CAD e SIG tais desvantagens serão eliminadas: a todo instante está disponível toda a funcionalidade de um CAD para cada um dos objetos de interesse armazenados em um SIG, além de serem mantidas também as funcionalidades básicas anteriormente mencionadas.

3.3 Funcionalidades

A seguir, enumeramos as funcionalidades que um SIG 3D deverá fornecer. Note que somente serão listadas as funcionalidades que não estão presentes em SIGs tradicionais. A lista foi obtida a partir das funcionalidades já disponíveis em alguns dos protótipos e sistemas citados.

a) Definição e modificação de entidades, através da integração transparente com sistemas de CAD. Essa funcionalidade deve ser tal que permita o planejamento e cálculo de plantas e projetos *in loco*, ou seja, sem que o usuário abandone o ambiente do SIG.

b) Visualização de dados espaciais em 3D, com várias possibilidades: paisagens artificiais renderizadas, mapeamento de imagens reais e, na medida em que o *hardware* assim o permita, vôos e passeios simulados.

c) Cálculo de integrais em 3D: volume, área de superfícies, distâncias, massa etc.

d) Recuperação da informação através de consultas tridimensionais.

Finalmente, sendo a obtenção dos dados a parte mais custosa do desenvolvimento de SIGs, a conversão de bases originariamente 2D para bases 3D é um tópico bastante atraente. Em [HOIN95b] é apresentado um *toolkit* para realizar tal conversão, utilizando o sistema PolyTRIM.

3.4 Aspectos Organizacionais

A convergência de CAD e SIG refletem profundas mudanças em como os usuários definem e utilizam esses sistemas em suas organizações. Essa convergência se deu principalmente em organizações que são responsáveis por projetar e manter obras de infraestrutura em larga escala, como rodovias, planejamento urbano, telecomunicações etc. Em tais organizações, é comum ver os engenheiros projetistas utilizarem CADs e os planejadores e tomadores de decisões utilizarem SIGs. Essa separação inclusive tende a refletir a própria estrutura hierárquica da organização.

A medida em que as duas tecnologias estão convergindo, as barreiras organizacionais tendem a se enfraquecer. Embora não se possa estabelecer uma relação clara de causa/consequência, pode-se afirmar que os usuários desejam um ambiente mais colaborativo, aberto, e a indústria os está atendendo. Os responsáveis pelo planejamento cada vez mais interagem com os responsáveis pelo projeto, e o resultado é uma melhoraria no desempenho da organização como um todo.

4. NOVOS TIPOS DE MAPAS

A evolução dos SIGs para a incorporação de novas dimensões (aspectos temporais e tridimensionais) cria a necessidade de novos tipos de mapas, capazes de apresentar ao usuário a informação relevante de forma clara e precisa. Várias propostas existem, dentre elas merecendo destaque os mapas animados e os mapas tridimensionais. Os mapas tridimensionais propiciam também a facilidade da criação de paisagens virtuais, ou seja, a geração de paisagens para a visualização tridimensional dos dados armazenados como se fossem fotografias tiradas da região – isso de qualquer ângulo escolhido pelo usuário. Alguns sistemas já criam tais paisagens, que ainda estão um pouco rudimentares mas já propiciam uma visão do que podemos esperar em breve. Além disso, é bastante mencionada a possibilidade de se criar passeios simulados através da geração em sequência das paisagens virtuais.

4.1 Mapas Temporais Animados

A visualização da dimensão temporal pode ser obtida basicamente de três formas: um único mapa com simbologia indicando as mudanças ocorridas ao longo do tempo, uma série de mapas estáticos mostrando vários estados da informação ao longo do tempo, ou ainda através de sequências animadas de mapas.

Um mapa animado, tipicamente apresentável em monitor de uma estação de trabalho, consiste basicamente em uma janela e cinco botões, semelhantes aos botões de um vídeo cassete: dois botões para movimentar o mapa para a frente e para trás, dois botões para avanço e retrocesso rápido e um botão de parada. A idéia é mostrar as mudanças ocorrendo como em um filme, por isso a analogia com um vídeo cassete. Como exemplo de sistema que oferece um mapa animado, temos o Tempest [PEUQ95] (Figura 2).

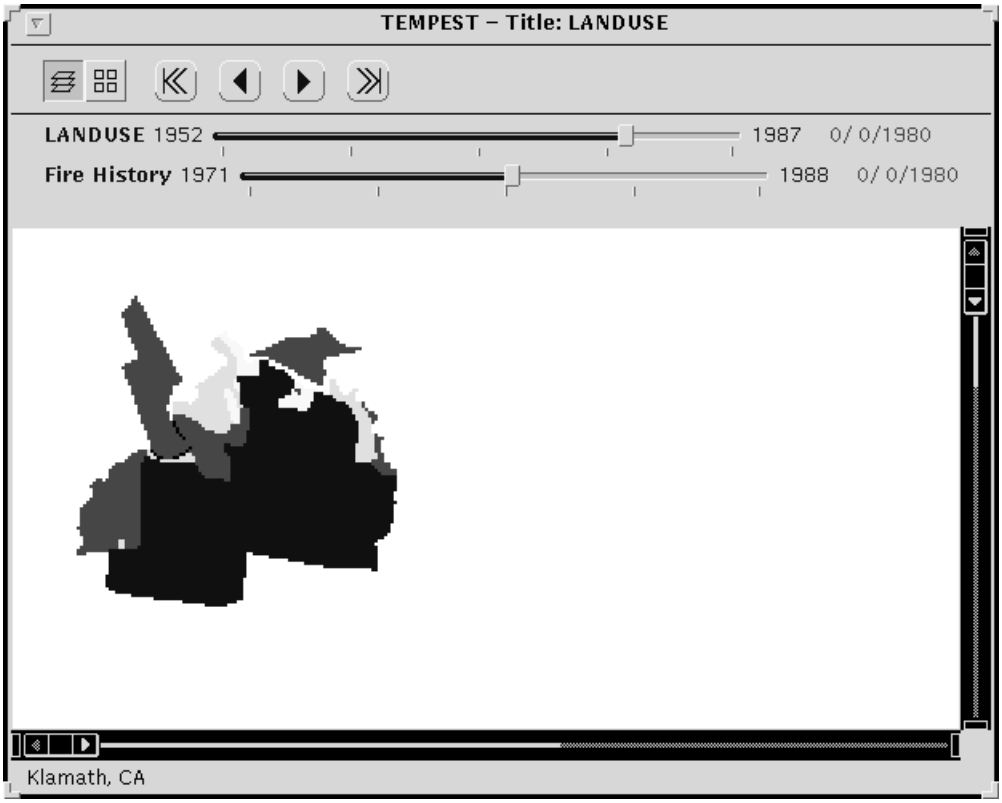

Figura 2

4.2 Mapas Tridimensionais

A geração de mapas tridimensionais envolve a inferência da forma de um objeto a partir de sua descrição. Quanto mais completa for essa descrição, e mais sofisticado for o mecanismo de inferência, melhor será a qualidade do mapa tridimensional gerado. É importante observar também que, para a efetiva criação de mapas tridimensionais, é necessário que a descrição dos objetos na base possua informações tridimensionais suficientes para tanto.

Diversas técnicas têm sido desenvolvidas para a geração de mapoas tridimensionais de qualidade aceitável a partir de modelos simples com o DTM. Como exemplo podemos citar [HOIN95], onde é descrita a conversão de uma base 2D para um modelo 3D e posterior geração de mapas 3D em poucos dias (Figura 3), e [JUNG94], onde paisagens do centro histórico da cidade de Darmstadt, Alemanha, foram geradas (Figura 3).

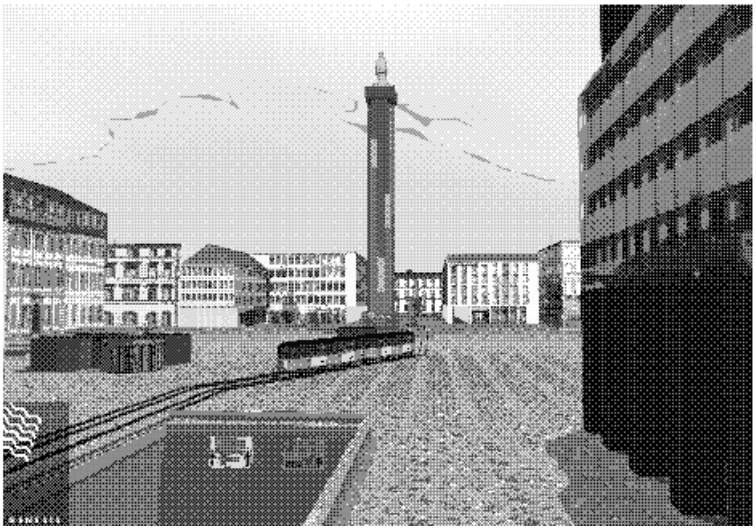

Figura 3

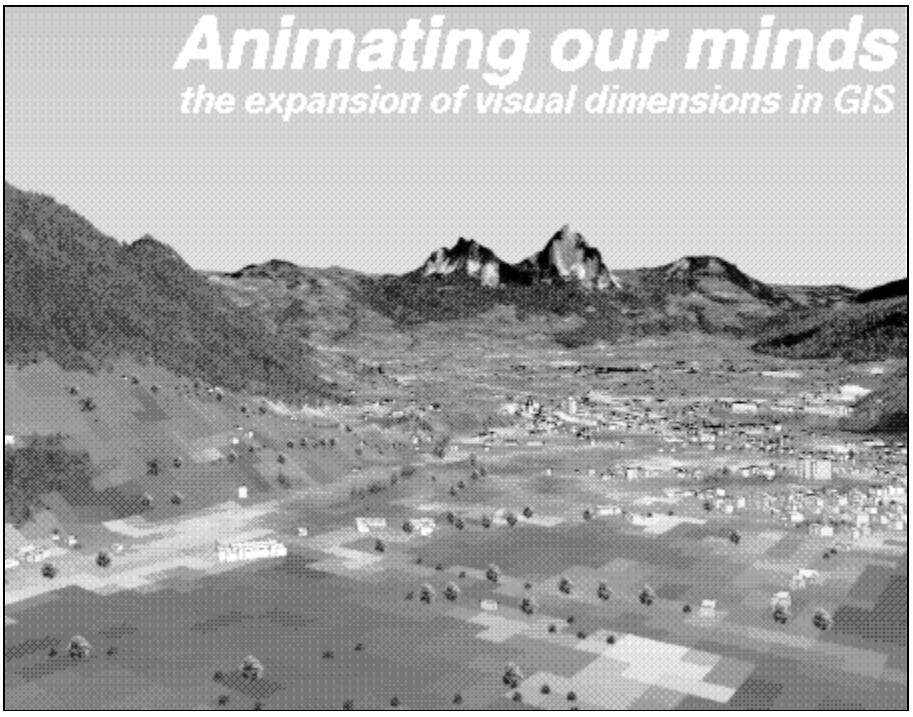

Figura 4

5. ORIENTAÇÃO PARA OBJETOS

O conceito de programação orientado a objetos já está bem consolidado no mundo da computação, o que pode ser observado inclusive pela grande difusão do uso de linguagens orientadas a objetos, como o C++. No entanto, na comunidade de usuários de SIGs tem havido uma aceitação surpreendentemente lenta dos conceitos de orientação para objetos. Esse fato ocorre porque até então nenhum dos produtos comercialmente disponíveis atingiu o nível de funcionalidade oferecido pelos sistemas tradicionais.

Espera-se que essa situação mude com os novos produtos, como o Smallworld © Smallworld Systems, Inc., que pode ser considerada a primeira plataforma para o desenvolvimento de aplicações geográficas orientada para objetos disponível comercialmente. Ainda que seu armazenamento de dados seja feito em um banco de dados relacional, existe uma interface que abstrai e

implementa todos os conceitos relativos a orientação a objetos sobre o BD relacional.

5.1 Origens

Praticamente todos os sistemas comercialmente disponíveis utilizam algum banco de dados relacional, que pode ser proprietário ou não, para lidar com os atributos alfanuméricos. Já os atributos espaciais são usualmente armazenados em um formato proprietário, de modo que é necessário manter ligações específicas entre os dados espaciais e os dados não espaciais (Figura 5). Essa abordagem porém, conhecida como dual, possui um claro problema de desempenho: realizar operações de união em tabelas relacionais nunca se igualou ao desempenho apresentado tanto nos antigos modelos de banco de dados em rede e hieráquicos quanto nos recentes modelos orientado a objetos.

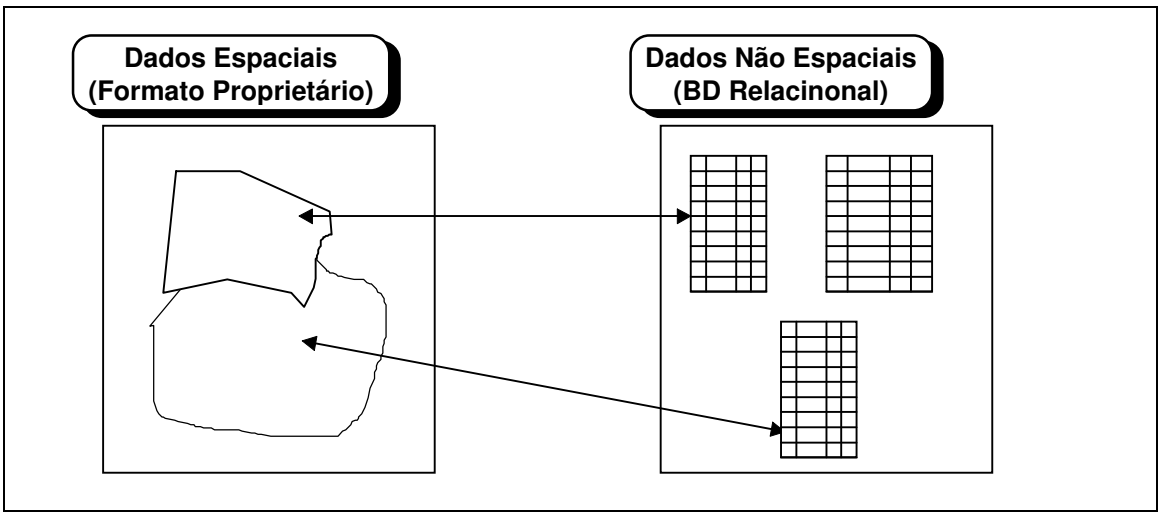

Figura 5

Com a tecnologia de banco de dados orientado a objetos, tanto os atributos espaciais quanto os atributos não espaciais e seus índices podem ser armazenados no SGBD. No entanto, a maior oportunidade oferecida é a chance de se reprojetar toda a funcionalidade hoje presente em SIGs. Além disso, com o uso da orientação a objetos é possível se conseguir um tratamento uniforme e integrado para dados nos dois formatos dominantes atualmente: raster e vetorial.

5.2 Arquiteturas Integradas

Para superar os problemas de performance decorrentes da arquitetura dual dos SIGs tradicionais, começaram a ser pesquisados e desenvolvidos sistemas com uma arquitetura integrada. A abordagem utilizada foi a de desenvolver SIGs a partir de SGBDs Estendidos, que possuem suporte aos tipos de dados mais comlexos presentes em tais aplicações. Dois importantes exemplos dessa abordagem são os SIG desenvolvidos sobre o Postgres [STON91] e o Starburst [HAAS91]. Em particular, Starburst é a implementação da Arquitetura de Extensão da Gerência de Dados proposta em [LIND87].

Tais exemplos servem para mostrar que, com tipos de dados e funções apropriadas definidos pelos usuário, um SIG bem flexível pode ser construído, capaz de lidar com tipos de dados bastante variados de uma forma uniforme. Já que tipos de dados abstratos, definidos pelo usuário, é um dos pilares da orientação a objetos, nada mais natural do que considerar que tais resultados também podem ser obtidos com Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados Orientados a Objetos.

5.3 Smallworld

O conceito de banco de dados espaciais orientado a objetos ainda não está bem consolidado. Existem vários aspectos ou componentes necessários para podermos designar algum sistema como um arqueótipo para SIG, cada um dos quais podendo ser implementado de várias formas diferentes. Porém, embora muitos sistemas comercialmente disponíveis usem o termo "orientado a objetos", poucos realmente o são, no significado atribuído ao termo no contexto de linguagens de programação.

Smallworld © Smallworld Systems, Inc., pode ser considerado o primeiro banco de dados espaciais orientado a objetos disponível comercialmente. Ainda que o armazenamento final dos dados seja feito em um banco de dados relacional, existe uma camada que abstrai e implementa todos os conceitos relativos a orientação a objetos. Além disso, a linguagem utilizada para a programação no sistema é uma variação de Smalltalk, sabidamente uma das linguagens orientadas a objetos mais puras.

5.4 Vantagens

As vantagens aqui mencionadas foram relatadas em sistemas implementados com o auxílio do Smallworld [SMAL95] e de um protótipo chamado OO-DNC [ARCT95]. É importante ressaltar também que o padrão SAIF [SAIF] para intercâmbio de dados foi totalmente desenvolvido utilizando-se tecnologia de orientação a objetos, e é composto de uma biblioteca de classes que deve servir de base para a construção de outros sistemas.

Diminuição da Impedância: a construção de sistemas em geral, e SIGs em particular, envolve a passagem por várias etapas que vão da análise à manutenção do sistema. Cada uma dessas etapas possui atividades distinta e formas de representação também distintas. Abstrações são feitas em cada uma delas. No entanto, ao se cruzar as fronteiras entre uma etapa e outra, há o que se chama de descasamento de impedância: conceitos e abstrações utilizados para representar o conhecimento sobre o sistema em uma etapa têm de ser modificados e adaptados à representação em outra etapa. Tais mudanças de representação introduzem muitas das vezes erros ou dificuldades que resultam no aumento complexidade (e dos custos) do desenvolvimento dos sistemas. Hoje em dia é fato consumado que as técnicas de orientação para objetos dimnuem a impedância por utilizarem uma notação e abstração uniforme ao longo dessas várias etapas de desenvolvimento.

Portanto, a modelagem de um fenômeno que é intrinsicamente orientado a objetos como sistemas de informação geográfica (especialmente quando se utiliza o modelo baseado em entidades) será realizada com menor impedância se forem empregados os conceitos de orientação a objetos ao longo de todo o desenvolvimento do sistema [WORB94].

Velocidade: devido ao fato de que os bancos de dados orientados para objetos não apresentam a arquitetura dual, que separa os atributos gráficos e espaciais dos atributos alfanuméricos, pode-se obter um ganho considerável na velocidade de execução. Além disso, com os recursos disponíveis em tais bancos de dados para o agrupamento (*clustering*) de estruturas de dados, que oferecem um grande controle por parte do usuário, muitas otimizações podem ser realizadas. Especificamente, em [ARCT95] temos relatos de operações realizadas de seis a quinze vezes mais rápidas.

6. CONCLUSÃO

Em um futuro próximo os usuários poderão esperar ganhos tanto nas funcionalidades oferecidas para as aplicações quanto no tempo de desenvolvimento das mesmas, além de uma melhor integração entre os vários tipos de representações dos dados, como tem sido demonstrado pelos sistemas e protótipos já desenvolvidos.

Em particular, com a incorporação da dimensão temporal os SIGs devem oferecer uma nova gama de funcionalidades possibilitando o desenvolvimento

de uma gama grande de aplicações que hoje estão em uma "demanda reprimida", devido aos fatores limitantes da tecnologia. Além disso, a integração de SIG com CAD, que já é uma realidade, deve oferecer produtos mais integrados onde se torne cada vez mais suave a transição de um ambiente para o outro. Para aproveitar melhor as novas funcionalidades, novos tipos de mapas já estão surgindo, que oferecem desde a animação no tempo até a criação de paisagens virtuais. Finalmente, a tecnologia de orientação a objetos está começando a ser utilizada no desenvolvimento de SIGs, o que deve reduzir o tempo e os custos de desenvolvimento de aplicações, bem como permitir a integração de dados em diversos formatos de uma maneira mais suave, além de permitir um acréscimo de velocidade na realização de algumas operações.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[SMAL95] - SmallWorld © SmallWorld Systems, Technical Papers - disponíveis ao público no endereço Internet: "http://www.w3net.com/sworld/tech".

[SAIF94] - British Columbia, Specifications and Guidelines for Geomatics Reference Series. Volume 1 - Spatial Archive and Interchange Format: Formal Definition. Release 3.1 April 1994.

[ARCT95] - Arctur, D., Anwar, J. A. and Chakravarthy, S. - "Comparison and benchmarks for import of VPF geographic data from object-oriented aand relational database files". From Fourth International Symposium on Large Spatial Databases, SSD'95, Portland, ME - USA.

[WORB94] Worboys, M.F.: "Object Oriented Approaches to Geo-referenced Information", in International Journal of Geographical Information Systems 8, 385-399, 1994.

[LANG93] Langran, G.: "Time in Geographical Information Systems". Taylor & Francis, London, 1993.

[CAND95] Candy, J. T.: "Development of a Prototype Temporal Geographic Information System". Tese de Mestrado, Simon Fraser University - Department of Geography.

[HOIN94] Hoinkes, R. and Mitchell, R.: "Playing with Time: Continuous Temporal Mapping Strategies for interactive Environments", 6th Canadian Conference on GIS, Canada, 1994.

[JUNG94] Jung, V.: "HIST: a Geographic Information System For the Support of Historic Research".

[GISW96] Gis World Magazine, April, .

[HOIN95a] Hoinkes, R. and Wright, R.: "Computational Issues in Landscape Planning: Implications for Decision Making in Sub-watersheds", Watershed Management Symposium, Environment Canada and Misnistry of Environment and Energy. Ontario, 1995.

[HOIN95b] Hoinkes, R. and Lange, E.: "3D for Free - Toolkit Expands Visual Dimensions in GIS", GIS World Magazine, July 1995.