

Parte II - Os sistemas de informações geográficas: conceitos e aplicações

Uma metodologia para implantação de sistemas de informações geográficas

Julia Celia Mercedes Strauch
Jano Moreira de Souza

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

NAJAR, AL., and MARQUES, EC., orgs. *Saúde e espaço: estudos metodológicos e técnicas de análise* [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 1998. 276 p. História e Saúde collection. ISBN: 85-85676-52-3. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.



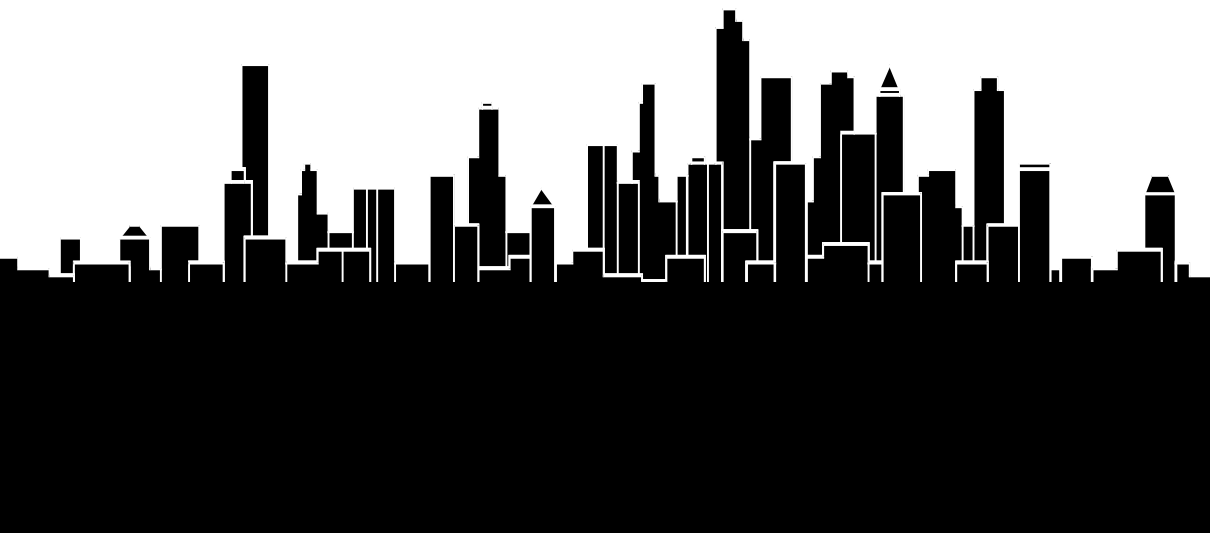
All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported.

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição - Uso Não Comercial - Partilha nos Mesmos Termos 3.0 Não adaptada.

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported.

PARTE II

OS SISTEMAS DE
INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS:
CONCEITOS E APLICAÇÕES



UMA METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

*Julia Celia Mercedes Strauch
Jano Moreira de Souza*

A partir da década de 70, com a crescente disponibilidade de dados ambientais e socioeconômicos, aliada a necessidade de diversas áreas de planejamento de estudarem os recursos disponíveis da Terra, envolvendo mudanças ocorridas no meio ambiente, no decorrer do tempo, gerou-se a necessidade de combinar dados sobre uma representação cartográfica com a finalidade de realizar análises georreferenciadas de acordo com critérios estabelecidos pelo usuário (Aronoff, 1989).

Com o desenvolvimento da informática na automação de processos, surgiram várias ferramentas para a captura automática de dados, análise e apresentação de informações geográficas relacionadas. A ligação técnica e conceitual destas ferramentas, levou ao desenvolvimento da tecnologia de processamento dos dados geográficos, denominada de geoprocessamento.

No âmbito do geoprocessamento, surgiram diversas propostas de ferramentas que só se viabilizaram a partir da disponibilidade, a custos aceitáveis, de várias tecnologias como a cartografia digital, o gerenciamento de Banco de Dados e o processamento digital de imagens. Dentre estas ferramentas, a que combina todas elas com técnicas de análise e manipulação de dados geográficos é denominada de Sistema de Informações Geográficas (SIG)¹ (Burrough, 1991).

¹ O Sistema de Informações Geográficas (SIG) tem sido utilizado na literatura para denotar tanto a tecnologia (*software*) quanto o sistema de informações com ele desenvolvido. Por questão de clareza, procuramos distinguir explicitamente, mesmo ao custo da fluência do texto, quando nos referimos à primeira acepção.

Um SIG é um sistema de informações desenvolvido sobre um *software* específico que, por sua vez, utiliza um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD). Permite tratar dados das mais diversas fontes, processar, armazenar, recuperar e analisar os mesmos, com o objetivo de gerar informações e apresentar resultados, em um formato passível de ser compreendido pelo usuário, oferecendo um ambiente de processamento integrado. Cabe ressaltar que o SGBD proporciona ao SIG o compartilhamento de seus dados entre múltiplos usuários com garantia de integridade, segurança e consistência no acesso concorrente (Ramirez, 1994).

Para o desenvolvimento dos SIG, como de qualquer sistema de informações, existe uma série de atividades que necessitam ser planejadas, coordenadas e disciplinadas com a adoção de uma metodologia. Essa metodologia integra um conjunto de métodos, técnicas e ferramentas para auxiliar o desenvolvedor, tornando o desenvolvimento dos sistemas um processo fácil e confiável. Ela permite representar que atividades são realizadas; o relacionamento e seqüência das atividades; e avaliar decisões para alcançar o sucesso neste desenvolvimento (Estes & Star, 1990; Laurini & Thompson, 1992).

De modo geral, as metodologias convencionais tendem a focalizar os componentes de *hardware* e de *software* de um SIG. Além disto, a implantação da tecnologia dos SIG em uma instituição se caracteriza por seu aspecto multidisciplinar, sendo fundamental o estabelecimento de uma metodologia que contemple aspectos sociais e técnicos, levando-se em consideração como as pessoas e a organização trabalham. Assim, a aplicação de metodologias convencionais nesta determinada implementação, sem considerar os conceitos relacionados às características do próprio sistema e seus elementos fundamentais, pode levar à construção de um SIG com dados corretos, consistentes, mas de onerosa obtenção e inúteis (Benwel, 1993; Ken, 1993; Medyckyj-Scott, 1993).

Segundo Hirschhein (1985), as metodologias para SIG devem propiciar ampla aplicabilidade, facilidade de uso, compreensão, economia, confiabilidade, clareza, precisão e concisão no desenvolvimento de sistemas.

ATORES ENVOLVIDOS NA IMPLANTAÇÃO DE UM SIG

A tecnologia dos SIG pode ser aplicada a diversas áreas que têm em comum o interesse por objetos do mundo real, com respeito à sua localização e distribuição espacial, ou ainda, de seus atributos. Estas áreas, de modo geral, são caracterizadas pela atuação do homem sobre o meio físico, como por exemplo: agricultura, urbanismo, transporte, saúde pública, engenharia civil, turismo, geografia, engenharia florestal, engenharia ambiental, engenharia de minas, levantamentos censitários, geologia, hidrologia e outras (Ramirez, 1994).

Esses sistemas proporcionam facilidades na execução de atividades, como planejamento, análise, gerenciamento e monitoração, sobretudo quanto à manipulação de dados gráficos e não-gráficos. Os dados gráficos são dados associados a fenômenos do mundo real em relação aos quais se privilegia, para fins de análise, seus atributos de localização e extensão sobre uma representação gráfica. Os dados não-gráficos são dados que privilegiam as características temáticas dos fenômenos do mundo real de forma a permitir sua identificação, classificação e

o estabelecimento de relações relevantes. Estes últimos são caracterizados como dados alfanuméricos normalmente associados à tecnologia de Banco de Dados (Souza et al., 1993).

Além disso, o SIG é mais do que uma simples coleção de dados, *hardware* e *software*. Ele envolve, também, um conjunto de indivíduos e instituições, e em sua implantação devem ser considerados os papéis de cada ator.

ATORES INSTITUCIONAIS

Atualmente, no Brasil, pode-se identificar genericamente os seguintes atores institucionais envolvidos na criação e operação de um SIG, em nível macro (Ferrari, 1997):

- órgão patrocinador: é a instituição responsável pelo capital, planejamento e viabilidade política e financeira para a implantação do SIG;
- fornecedores de SIG: são organizações responsáveis pelo desenvolvimento e comercialização de um ou mais sistemas de *softwares* para os SIG;
- instituições científicas e acadêmicas: são instituições que tratam do desenvolvimento de *softwares* e aplicações em SIG, bem como a preparação de profissionais especializados nesta tecnologia. Podem atuar, também, como usuários;
- fornecedores de dados: são instituições, tanto do setor privado, quanto do público, que fornecem dados gráficos e não-gráficos utilizados pelos SIG;
- sistema operador: é a equipe operacional que faz parte das organizações e é constituída por analistas, cartógrafos, programadores e usuários especializados, que tratam, no dia-a-dia, do desenvolvimento e de operações do SIG, da administração do Banco de Dados e do treinamento de usuários;
- sistema de usuários: é a coleção de indivíduos e organizações que fazem uso do SIG, a fim de encontrar soluções para os problemas relacionados com os dados espaciais.

ATORES OPERACIONAIS

Os atores operacionais relacionados ao desenvolvimento do SIG dependem da área de aplicação, mas do ponto de vista operacional a equipe especializada em SIG, segundo Paredes (1991), deve possuir os seguintes atores:

- coordenador técnico: deve gerenciar tanto o planejamento e implantação, quanto a implementação e operação do SIG;
- analista de SIG: é um profissional em computação que conhece a tecnologia SIG, para solucionar os problemas e prever informações necessárias ao usuário. Ele deve interagir com os membros da equipe, funcionando como navegador para os demais, durante a instalação e desenvolvimento do projeto. Ele tem um papel importante durante a evolução do SIG, no seu ciclo de vida;

- administrador do sistema: é responsável pelo cumprimento das metas do sistema, quanto a parte operacional, desde a aquisição de dados até a apresentação da informação;
- cartógrafo: profissional que trata de questões específicas da Base Cartográfica, como sua aquisição, manipulação, gerência e apresentação de produtos temáticos;
- responsável pela digitalização e edição: profissional treinado para transformar os dados analógicos para o formato digital, adequadamente, seja por digitalização automática ou manual;
- programador: profissional que desempenha a tarefa de codificação das aplicações para o SIG, tais como customizações de entrada de dados, saída de informações e interfaces;
- usuários finais: profissionais com capacidade de identificar metas e aplicar os dados geográficos para produzir a informação necessária.

METODOLOGIA PROPOSTA

Este trabalho propõe uma metodologia para implantação de SIG baseada na análise estruturada, apoiando-se nas metodologias para automação de escritório ETHICS e TUDD (Hirschheim, 1985), de modo a enfatizar a participação sociotécnica do usuário. A primeira possui natureza participativa, na qual os usuários exercem importante papel no desenvolvimento do sistema. A segunda proporciona o desenvolvimento do sistema, com aprovação e validação pelo usuário.

A metodologia propõe organizar uma coleção de dados flexível e eficiente, georreferenciada e interrelacionada para suportar as aplicações do SIG. Para alcançar estes objetivos, a metodologia é desmembrada em fases menores e manuseáveis, definindo de forma ordenada uma seqüência de fases a serem seguidas.

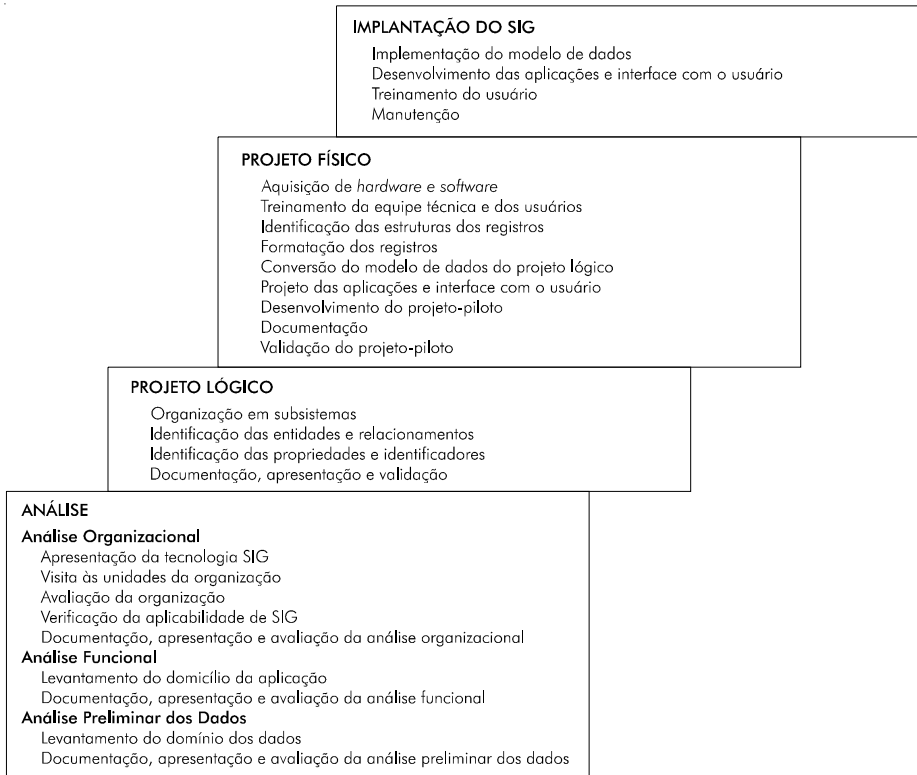
Ela enfatiza a inicialização do ciclo de vida do SIG pela fase de análise que abrange a organização da instituição, as funções que o SIG pretende desempenhar e os dados georreferenciados, seguido pelas fases do projeto lógico, do projeto físico e da implantação e manutenção do sistema, conforme ilustrado na Figura 1. Tal ordenação tem por objetivo assegurar que as decisões sobre o que o sistema deve fazer sejam tomadas antes de se imaginar como o SIG irá desempenhar suas atividades.

Essa metodologia propõe ainda uma fase de avaliação do SIG que ocorre paralelamente às outras, de modo a monitorá-las e a modificá-las quando necessário. Deste modo, a metodologia é desenvolvida por um processo iterativo e interativo, no qual as etapas anteriores, ao serem avaliadas, poderão ser modificadas.

FASE 1: ANÁLISE

Esta fase de análise tem por objetivos avaliar a organização que pretende absorver a tecnologia, estudar a área de aplicação e investigar as necessidades do usuário. É subdividida em três etapas: relativa à análise organizacional da instituição; relativa à análise funcional do SIG; e análise preliminar dos dados.

FIGURA 1 – Ciclo de vida de um SIG



ANÁLISE ORGANIZACIONAL

Segundo De Man (1992), é necessário uma fase que ajude o usuário a definir as necessidades organizacionais, de modo a estabelecer os requisitos e as restrições do projeto voltados à organização. Assim, esta fase tem como meta avaliar a organização como um todo, tendo em vista seus objetivos, sua abrangência e sua estruturação, identificando porque a organização deseja desenvolver um SIG, o que ele deverá fazer e como deverá ser desenvolvido. Esse levantamento permitirá avaliar a organização e os impactos causados com a introdução da tecnologia de SIG. Esta etapa poderá ser desenvolvida nas seguintes subetapas abaixo:

- **Introdução da tecnologia SIG**

Esta subetapa tem como proposta fornecer uma cultura geral na tecnologia, bem como construir suporte e cooperação. Isso é alcançado através de seminários e conferências que apresentam a tecnologia SIG e as suas funcionalidades, além de desenvolver linhas de comunicação com os usuários, identificando pessoas-chaves para as etapas seguintes.

Os seminários e conferências devem ter como conteúdo conceitos a respeito da tecnologia de SIG e apresentar as suas características, quando aplicadas a organizações semelhantes, tais como funções potenciais, soluções operacionais de Banco de Dados e exemplos na mesma área de aplicação. Os participantes deverão ser os analistas, consultores, gerentes e representações dos grupos funcionais.

- **Visita às unidades da organização**

Esta etapa tem por objetivo observar, nas unidades da organização, como as atividades são executadas e por quem; como os produtos são gerados, armazenados, usados e mantidos, aprender como os recursos são alocados física e financeiramente.

- **Avaliação da organização**

Esta etapa tem por objetivo estabelecer a estrutura organizacional da instituição e suas atribuições. Nela serão identificados os problemas e deficiências no sistema corrente que poderão ser sanados com a tecnologia de SIG; os recursos humanos; sua capacitação técnica; suas atribuições e suas expectativas para o projeto; os recursos em nível de *hardware* e de *software* disponíveis e os que poderão ser necessários.

- **Verificação da aplicabilidade da tecnologia SIG pela instituição**

Esta subetapa tem por objetivo obter resposta à questão: como o SIG pode ser utilizado pela organização? Isso é alcançado através da criação de cenários operacionais das atividades correntes e futuras com o SIG implantado. Esses cenários deverão ser apresentados nos níveis gerencial e técnico, possibilitando aos participantes sugerirem alterações, prioridades e necessidades de eficiência e satisfação no trabalho.

- **Documentação, apresentação e avaliação da análise organizacional**

Nesta etapa deverá ser elaborado um documento contendo as responsabilidades e os serviços oferecidos pela instituição: quais os departamentos e unidades que serão afetadas diretamente pelo desenvolvimento do projeto de SIG; quais as funções que o SIG poderá atender; e quais serão os usuários potenciais e as suas reais necessidades de satisfação no trabalho.

Este documento deverá ser apresentado no nível gerencial, de modo a fornecer subsídios para a instituição avaliar quais serão os impactos organizacionais introduzidos com a tecnologia SIG. Esta avaliação deverá considerar vários aspectos, entre os quais a abrangência do projeto, os setores e pessoal envolvido, o treinamento necessário e até a necessidade de reengenharia na organização.

ANÁLISE FUNCIONAL

Esta etapa tem por objetivo definir qual funcionalidade o sistema deverá proporcionar à organização. Isto deverá ser alcançado através da identificação dos objetivos do SIG dentro da organização, suas potenciais aplicações e a determinação das funcionalidades necessárias para

o usuário alcançar a satisfação no trabalho, através do estabelecimento das funções e tarefas específicas que o sistema deverá executar; das interfaces necessárias e das restrições do projeto. Ela deverá ser um processo formal e sistemático instituído, de modo a coletar estas informações. Poderá ser executada através das seguintes subetapas assim descritas:

- **Levantamento do domínio da aplicação**

Esta subetapa tem por objetivo estabelecer uma relação com grupos de usuários, a fim de compreender e documentar as operações executadas por estes (atividades, aplicações e dados); as capacidades funcionais em nível de *hardware*, *software* e recursos humanos da organização; identificar interfaces operacionais (fontes de dados, destino do produto, fluxo de comunicações organizacionais); o procedimento para executar análises espaciais e a forma de apresentar as informações resultantes (relatórios, mapas, tabelas) pelo sistema corrente.

- **Documentação, apresentação e avaliação da análise funcional**

As entrevistas deverão resultar na elaboração de um documento contendo: uma breve descrição do sistema corrente, identificando os problemas e deficiências; a descrição completa, clara e concisa dos processos utilizando o novo sistema, ilustrando como ele poderia sanar os problemas e deficiências encontrados, bem como poderia proporcionar maior viabilidade ao desenvolvimento das operações dentro da organização; os limites do planejamento e projeto de implementação do SIG, de modo a estabelecer prazos e metas a serem cumpridas; as prioridades das aplicações a serem desenvolvidas no SIG, bem como as interfaces operacionais necessárias; a equipe técnica necessária e sua organização, bem como os produtos a serem oferecidos pelo sistema; o diagrama de contexto, de modo a fornecer uma idéia das entradas e saídas do SIG, caracterizando sua finalidade dentro da organização; e o diagrama de fluxo de dados apresentando o fluxo operacional, interfaces, entrada e saída de dados.

O documento resultante da análise funcional do SIG deverá ser apresentado aos técnicos e gerentes da organização, visando uma avaliação do projeto.

ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS

Esta etapa tem por objetivo identificar os dados necessários ao desenvolvimento do SIG, realizando um levantamento e avaliando as fontes de dados gráficos e não-gráficos usados; identificando seus formatos, qualidade, as necessidades de conversão de dados e as necessidades de apresentação das informações resultantes das análises espaciais.

- **Levantamento do domínio dos dados**

O levantamento do domínio dos dados deve considerar as consultas manifestas e latentes, bem como questões relativas à manutenção e gerência dos dados.

Uma forma de realizar este levantamento é através de entrevistas, de modo a coletar os dados que serão necessários para o desenvolvimento do projeto. Os dados poderão ser clas-

sificados e tratados como dados gráficos e não-gráficos. Deverão, ainda, ser observados quanto à proveniência, à denominação e ao conceito, à identificação, aos formatos, ao tamanho, ao volume, à acuracidade, à frequência de uso, à segurança e, finalmente, quanto a padrões de atualização.

Quanto a proveniência dos dados, devem ser reunidos exemplos de arquivos, tabelas, fichas, base de dados etc. Entretanto, para os dados gráficos devem ser reunidos exemplos das bases cartográficas relacionadas aos temas a serem contemplados pelo sistema, como por exemplo: temas físicos, ambientais e políticos administrativos; serviços de utilidades públicas; imagens de satélites etc., conforme a aplicação do SIG. Deverão ser observados ainda os aspectos relativos à cartografia, como por exemplo: se os data horizontal e vertical, os sistemas de projeções e os sistemas de coordenadas das bases cartográficas são compatíveis e se são armazenados em um formato padrão.

De Man (1992), para facilitar a análise e identificação dos dados, tanto espacial como não-espacial, sugere que nesta etapa sejam empregadas as seguintes técnicas, a saber:

- **Categorização:** os dados devem ser categorizados e refinados de modo a formar conjuntos que possuam características comuns. Esta categorização é obtida através da utilização de critérios, tais como:
 - por tipos: mapas, relatórios, arquivos, tabelas etc.;
 - por aquisição para cada atividade: automatizada ou manual;
 - por nível de segurança: nenhuma, parcial e total;
 - por aplicação: geologia, florestal, topografia etc.;
 - por tema: hidrografia, transporte, vegetação etc.; e
 - pelo formato dos dados espaciais: pontos, linhas, polígono, anotação.
- **Eliminação de redundância:** através de uma análise cruzada dos critérios utilizados, como, por exemplo, por tipo de dado e aplicação;
- **Priorização:** identificar os dados básicos, os mais benéficos para os maiores conjuntos de grupos funcionais e os adicionais necessários para o desenvolvimento futuro do SIG.

Outra questão é quanto à necessidade de conversão analógico-digital dos dados gráficos e não-gráficos que deve relacionar o estado atual e futuro. Para os dados gráficos devem ser questionados os métodos de aquisição (digitalização, *scanning*, restituição numérica, sensoriamento remoto, levantamento topográfico, levantamento por posicionamento GPS etc.). Para os dados não-gráficos devem ser consideradas as formas de armazenamento (formato dos dados, tipo de Banco de Dados etc.).

- **Documentação, apresentação e avaliação da análise preliminar dos dados**

Deverá ser elaborado um documento descrevendo o domínio dos dados. Este documento deverá relacionar o dado, seu tipo, sua descrição e de suas propriedades, sua origem, seu formato, sua forma de atualização, a acuracidade, critérios de segurança e o volume necessário.

Este documento deverá ser apresentado às equipe operacionais para uma avaliação da veracidade da necessidade dos dados levantados.

FASE 2: PROJETO LÓGICO

O projeto lógico consiste na integração de todos os requisitos de aplicações do SIG em uma estrutura de Banco de Dados, de modo a suportar as visões e necessidades deste processamento. Tem por objetivo planejar a estrutura lógica dos dados, independentemente do *software / hardware* ou da estrutura dos dados armazenados.

Para que se dê o desenvolvimento do projeto lógico deve ser realizada uma análise do ambiente da aplicação e dos tipos de estruturas lógicas dos dados, de modo a estabelecer uma organização para eles através de um modelo conceitual da área de aplicação.

Esta metodologia propõe a modelagem entidade-relacionamento, uma vez que é a abordagem operacional mais comum no mercado, além de a maioria dos *softwares* SIG disponíveis utilizarem Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados relacionais, para os quais foi desenvolvida.

Para a modelagem entidade-relacionamento é sugerida a utilização do modelo relacional estendido proposto por Chen (1990), para capturar a semântica e as restrições da Base de Dados, uma vez que ele proporciona uma proximidade da percepção do usuário aos dados e aplicações, independentemente do SGBD que o SIG utiliza, além de uma flexibilidade para modificar a modelagem durante o processo de projeto.

Chen propõe utilizar os conceitos de entidade, relacionamento e atributo para modelar a base de dados. Entidades são coisas ou objetos do mundo real, com uma existência independente; o relacionamento descreve associações entre entidades; e atributos são propriedades que descrevem a entidade e os relacionamentos.

O desenvolvimento do projeto lógico pode ser desmembrado nas seguintes etapas:

- **Organização em subsistemas**

Após o levantamento das necessidades, da definição da base cartográfica que descreve a área geográfica de interesse e da análise dos dados, o desenvolvimento do SIG deve ser dividido em subsistemas. Esta divisão tem por finalidade facilitar o desenvolvimento do projeto lógico e, posteriormente, o desenvolvimento do projeto físico.

Os subsistemas são identificados através da reunião de dados que possuem aplicações no atendimento a funções ou a atividades com um fim específico. Inicialmente os dados devem ser organizados em grupos, tais como: por tipo de representação gráfica (imagens de satélite, base cartográfica etc.), por tipo de tema (limites político-administrativos, ambientais, topográficos...), por finalidade (análise estatística, espacial...) etc. A título de minimizar a complexibilidade dos subsistemas, eles devem ser subdivididos em níveis de informação.

- **Identificação das entidades e relacionamentos**

Esta etapa tem por objetivo identificar as entidades e os relacionamentos necessários para cada subsistema, resultando na elaboração de uma representação diagramática denominada de Diagrama de Entidade Relacionamento (DER), para cada subsistema.

As entidades e relacionamentos a serem consideradas dependem do objetivo de cada subsistema e, conseqüentemente, dos tipos de consultas previstas para o mesmo. Os relacionamentos dependem das associações entre as entidades.

- **Identificação das propriedades e identificadores das entidades e dos relacionamentos**

Esta etapa tem por objetivo identificar as propriedades e os identificadores (chaves ou geocódigos) das entidades e dos relacionamentos de cada subsistema.

As propriedades são expressas em termos de atributos, que descrevem as características das entidades e dos relacionamentos, e de tipos de valores que estas mesmas características podem assumir.

O identificador das entidades e relacionamentos consiste em uma ou mais propriedades que melhor os caracterize e pela qual possa ser identificada (chave ou geocódigo).

No desenvolvimento de alguns subsistemas do SIG podem ser encontradas entidades que não exigem propriedades nem identificadores, apenas a representação gráfica.

Nesta etapa, tendo sentido a necessidade de um SIG com estrutura de dados vetoriais, devem ser definidas a estrutura de armazenamento (ponto, linha, polígono) e a simbologia para as entidades de cada subsistema.

Como resultado, deve-se ter a elaboração de um documento contendo a descrição das entidades e relacionamentos, com suas respectivas propriedades, identificadores e representação gráfica, se for o caso.

- **Documentação, apresentação e validação**

Esta etapa tem por objetivo reunir os documentos elaborados nas etapas anteriores, elaborando um documento único contendo uma introdução da proposta do documento, os subsistemas, os Diagramas de Entidades Relacionamento (DERs), a descrição das entidades, seus relacionamentos e suas propriedades.

Esse documento deverá ser apresentado às equipes operacionais e gerenciais para aprovação. Tal apresentação pode resultar na necessidade de uma revisão do projeto lógico para posterior aprovação.

FASE 3: PROJETO FÍSICO

Esta etapa se preocupa com a maneira em que os dados serão fisicamente armazenado na Base de Dados do SIG, levando em conta a configuração do *hardware* e do *software*; a utilização, manutenção e facilidade de acesso aos dados.

- **Aquisição de *hardwares* e de *softwares***

Ao introduzir a tecnologia SIG em uma organização, deve-se ter certeza de que os *softwares* e os *hardwares* comprados realmente atendem as necessidades técnicas, atuais e futuras, para o seu desenvolvimento, uma vez que a ela é cara e não pode se tornar obsoleta muito rapidamente.

Assim, a metodologia propõe também a especificação de *softwares*, *hardwares* e sua organização, após uma criteriosa avaliação dos recursos existentes e dos recursos necessários.

Existe atualmente uma grande diversidade de *softwares* e *hardwares* disponíveis no mercado. Para selecioná-los, deve-se entrar em contato com os fornecedores de *softwares* SIG que atendam às especificações, bem como com os fornecedores de *hardwares* que sejam suportados pelos *softwares* e que também atendam às especificações, e solicitar um *benchmark* conjunto.

Para este *benchmark* deve ser redigido um documento detalhando as necessidades dos usuários e o modo pelo qual os fornecedores podem responder aos propósitos. Os fornecedores deverão apresentar um protótipo do tipo de SIG que a instituição pretende. Tal protótipo deverá ser executado em *hardwares* que atendam às especificações.

No *benchmark* devem ser levantadas questões quanto à capacidade do *software* (tipos de operações, implementação de aplicações, facilidades de uso, medições de tempo das operações etc.) e quanto ao suporte operacional dos *hardwares* (desempenho, tempo de operação, interface, avaliação da rede etc.).

Após a seleção, levando-se em consideração o desempenho conjunto dos *hardwares* e dos *softwares* no *benchmark*, e também o preço, efetivar o contrato com os fornecedores prevenindo serviços de manutenção, atualização de versões – tanto para o *software* quanto para o *hardware* – e treinamentos. Planejar, finalmente, o *layout* da instalação dos equipamentos.

- **Treinamento da equipe técnica e dos usuários**

Esta etapa pode ser iniciada antes da entrega definitiva dos *softwares* e dos *hardwares*, desde que os fornecedores, a título de cortesia, deixem na instituição aqueles *softwares* e *hardwares* utilizados no *benchmark*. Isto agiliza a implantação do SIG, uma vez que ao chegarem os definitivos, estes possam ser usados com todo seu potencial.

O treinamento, de modo geral, deve proporcionar: uma revisão dos conceitos da tecnologia SIG, noções básicas e avançadas sobre o *software* SIG, noções sobre os *hardwares* de entrada de dados e saída de informações, e treinamento para os administradores do sistema, entre outros.

- **Identificação das estrutura de dados**

A fim de facilitar a visualização das estruturas lógicas dos dados, o DER deve ser traduzido para um Diagrama de Estrutura de Dados (DED), obedecendo as regras de tradução, segundo Chen (1990).

- **Formatação dos registros**

Esta etapa tem por objetivo elaborar um documento contendo o formato dos registros e a estrutura de dados adequada à navegação entre eles.

A definição do registro é obtida através do agrupamento dos atributos das entidades e dos relacionamentos. Ele é apresentado como um cabeçalho em uma tabela, onde cada coluna representa um campo referente a um atributo e cada linha um registro diferente.

A navegação entre os registros é materializada por atributos adicionais que apontam para outros registros.

- **Conversão do modelo de dados do projeto lógico no modelo de dados físico**

Esta etapa se preocupa em adequar a modelagem de dados do projeto lógico às características do *software* selecionado. Desta forma, faz-se necessário rever os subsistemas e seus níveis de informações, o formato dos registros, os identificadores das entidades (chaves e geocódigos) e o estabelecimento dos relacionamentos entre as entidades, observando-se as restrições do *software*.

- **Projeto das aplicações e interfaces com o usuário**

O principal desafio do projeto SIG é o desenvolvimento de aplicações SIG e interfaces amigáveis que customizem operações complicadas para o usuário, podendo ser desde simples comandos a sistemas de menus gráficos mais sofisticados.

Assim, esta etapa tem por finalidade identificar a necessidade de aplicações e interfaces e projetar o seu desenvolvimento, de modo a evitar programas e atividades redundantes, bem como formas tediosas de trabalho.

Esta metodologia propõe a elaboração de um documento contendo uma descrição do objetivo do programa, suas entradas e saídas e sua especificação em português, estruturado de acordo com a sua lógica.

- **Desenvolvimento do projeto-piloto**

Esta etapa tem por objetivo o desenvolvimento de um projeto-piloto, de modo a proporcionar o conhecimento necessário à automação, verificar a adequação do projeto lógico, possibilitar a condução de pequenos testes e projetos afins, treinar a equipe e mostrar à gerência o que o SIG pode executar.

Para o desenvolvimento do projeto-piloto, deve ser selecionada uma área representativa da região a ser implantado o SIG, cujos dados possuam uma ampla variedade e complexidade, de maneira que todas as funções que o SIG pretenda executar sejam simuladas e testadas fisicamente quanto a própria funcionalidade, desempenho e flexibilidade.

O desenvolvimento do projeto-piloto consiste, inicialmente, em definir e desenvolver a Base de Dados com os procedimentos para entrada, edição e gerência dos dados. Em seguida, definir e desenvolver programas para avaliação da segurança e qualidade do projeto, bem como do desempenho das ações e aplicações a serem testadas.

- **Documentação**

Durante o desenvolvimento do projeto-piloto deve ser elaborado um documento contendo as alternativas conceituais; as alternativas testadas quanto a tempo e facilidades de uso; as especificações das aplicações em português, estruturado de acordo com sua lógica; a automatização de outros procedimentos não reconhecidos durante a etapa 'Projeto das Aplicações e Interfaces com o Usuário', do 'Projeto Físico'; a identificação de necessidades adicionais de *software* e *hardware*; os produtos gerados; os resultados e as recomendações.

Assim, esta etapa tem por objetivo reunir os documentos elaborados nas etapas anteriores, de modo a gerar um documento único contendo uma introdução da proposta do documento.

- **Validação do projeto-piloto**

Em seguida, o projeto-piloto deve ser apresentado a usuários e grupos funcionais, e deve ser dada permissão para que o utilizem, a fim de que possam sugerir e identificar possíveis erros. Tais sugestões devem ser consideradas e implementadas.

FASE 4: IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO DO SIG

A partir da aprovação do projeto-piloto, deve ser traçada uma estratégia que vise a implantação do SIG, bem como a sua ampliação. Tal estratégia deve reavaliar as necessidades adicionais de *hardware* e de *software*, estabelecer a especificação final do SIG, suas aplicações e um plano de implementação efetiva, definindo áreas e prioridades.

A metodologia propõe que esta fase seja dividida nas seguintes etapas:

- **Implementação do modelo de dados**

Nesta etapa, a automação da Base de Dados é completada e procedimentos operacionais são desenvolvidos para mantê-la, bem como para proporcionar os serviços de informação do qual a organização necessita.

- **Desenvolvimento de aplicações e interfaces com o usuário**

Nesta etapa, procedimentos são desenvolvidos para manter e facilitar a utilização do SIG, além de atualizar os serviços, de modo que o SIG continue a suportar as alterações necessárias à organização. Deverão ser desenvolvidas ferramentas básicas que auxiliem a análise e simulação, conversão de dados e apresentação de resultados.

Deverão ainda ser observadas, nesta etapa, questões de responsabilidades (segurança, sistema de senhas e autorizações, registro de atividades de operações, criptografia dos dados), procedimentos de cópias de segurança e recuperação em caso de falhas, de modo a garantir o padrão dos serviços fornecidos por este sistema.

- **Treinamento dos usuários**

O treinamento dos usuários tem por finalidade consolidar a tecnologia SIG na instituição, desenvolvendo neles as habilidades necessárias, de modo a permitir que possam aplicar tal tecnologia adequadamente.

- **Manutenção**

Devem ser estabelecidos, ainda, procedimentos de longo prazo para adição, atualização, operação e manutenção de dados, bem como para o desenvolvimento de customizações. Para este último deve ser prevista uma monitoração durante todo o ciclo de vida do SIG, de modo a estar sempre atento às necessidades do usuário final.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido ao fato de a tecnologia SIG ser relativamente nova e multidisciplinar, envolvendo diversos tipos de usuários e áreas de aplicação, a tecnologia tradicional para o desenvolvimento de sistemas não será muito adequada se não forem considerados os aspectos sociotécnicos da organização.

Entretanto, na adoção de uma metodologia, em particular para a implantação de um SIG em uma instituição, deve-se ter em mente que nenhuma metodologia é completa, tendendo cada uma a ser mais apropriada para uma ou outra etapa do ciclo de vida do sistema. Desta forma, torna-se necessário uma melhor avaliação e refinamento da metodologia proposta, identificando quais as etapas que ainda não estão adequadas ao desenvolvimento dos SIG. Um avanço nesta direção foi a experimentação realizada na COPPE/UFRJ com uma primeira versão desta metodologia, usada na especificação de sete protótipos nas seguintes áreas da engenharia: biomédica, transporte, produção, costeira, planejamento energético, geotecnia e hidrologia, que resultou em uma série de refinamentos à proposta original.

Outro ponto a ser considerado na metodologia proposta é a utilização da abordagem entidade relacionamento, uma vez que os SIG disponíveis no mercado adotam gerenciadores de banco de dados relacionais. Entretanto, com o desenvolvimento do paradigma da orientação a objetos, já se estuda a utilização da 'Orientação a Objetos', por suas vantagens na modelagem e reutilização (Borges & Fonseca, 1996; Filho & Lochpe, 1996). Quando os SIG orientados a objeto (SIGOO) estiverem disponíveis, às vantagens citadas anteriormente ainda se somarão aquelas relativas às funcionalidades oferecidas por um SGBDOO, tais como o encapsulamento de propriedades e operações e a herança através das hierarquias de tipo, que permitirá a modelagem mais natural das dimensões temporais e espaciais, bem como seu armazenamento em versões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARONOFF, S. *Geographic Information Systems: a management perspective*. Ottawa: WDL Publications, 1989.
- BENWELL, G. Culture change, incorporation and GIS. In: MEDYCKYJ-SCOTT, D. & HILLARY, M. H. (Eds.) *Human Factors in Geographical Information Systems*. Londres: Belhaven Press, 1993. p.223-232.
- BORGES, K. A. V. & FONSECA, F. T. Modelagem de dados geográficos em discussão. *Anais do GIS Brasil 96*. Curitiba: Sagres, 1996. p.524-532.
- BURROUGH, P. A. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford: Clarendon Press, 1991.
- CHEN, P. *Modelagem de Dados: a abordagem entidade-relacionamento para projeto lógico*. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.

- DE MAN, W. H. E. Planning and design strategies in establishing a Geographical Informational Systems. *Anais do Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento*. São Paulo: EpUSP, 1992. p.103-108.
- ESTES, J. & STAR, J. *Geographic Information Systems – An Introduction*. New Jersey: Prentice Hall, 1990.
- FERRARI, R. *Viagem ao SIG: planejamento estratégico, viabilização, implantação e gerenciamento de Sistemas de Informações Geográficas*. Curitiba: Sagres, 1997.
- FILHO, J. L. & LOCHPE, C. Adaptando o modelo de objetos OMT para modelagem conceitual de aplicações em SIG. *Anais do 1ª Segeo: Geoprocessamento Mitos e Realidades*, 1996.
- HIRSCHHEIM, R. A. *Oficce automation: a social and organizacional perspective*. New York: John Wiley & Sons, 1985.
- KEN, D. E. Planing for change: introduction a Geographic Information System. In: MEDYCKYJ-SCOTT, D. & HILLARY M. H. (Eds.) *Human Factors in Geographical Information Systems*. Londres: Belhaven Press, 1993. p.199-210.
- LAURINI, R. & THOMPSON, D. *Fundamentals Spatial Information Systems*. San Diego: Academic Press, 1992.
- MEDYCKYJ-SCOTT, D. Design Geographic Information System for use. In: MEDYCKYJ-SCOTT, D. & HILLARY M. H. (Eds.) *Human Factors in Geographical Information Systems*. Londres: Belhaven Press, 1993. p.87-99.
- PAREDES, E. A. Metodologia de implantação do SIG-urbano em pequenas e médias prefeituras. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Cartografia*. São Paulo: EpUSP, 1991. p.563-574.
- RAMIREZ, M. R.. *Sistemas Gerenciadores de Banco de dados para Geoprocessamento*, 1994. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro: Coppe/Uerj.
- SOUZA, J. M. et al. Uma arquitetura organizacional para Sistema de Informação Geográfica orientado a objeto. *Anais do Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento*. São Paulo: USP, 1993.

