

# Carvão e Meio Ambiente

Centro de Ecologia

da Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul



Editora  
da Universidade

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

*Carvão e meio ambiente* é fruto da colaboração de inúmeros grupos de trabalho da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, tendo contado com pesquisadores de outras instituições com o objetivo de estudar os efeitos da exploração e do uso do carvão sobre o meio ambiente, na Região Carbonífera do baixo Jacuí, no Rio Grande do Sul.

A Região, nos seus aspectos ambientais e sociais, é tratada de modo global na primeira parte do livro, que relata sobre a geologia, o clima, os solos, a vegetação e as características demográficas, econômicas e jurídico-políticas.

A partir da descrição geral busca-se uma síntese dos aspectos ambientais e socioeconômicos, visando analisar a sustentabilidade econômica e ambiental da exploração e do uso do carvão.

Estudos sobre as conseqüências da queima do carvão, na atmosfera local, no solo e na água, são abordados nos tópicos ligados ao meio físico. Especial atenção

está voltada para a recuperação de áreas mineradas e com sugestões para os tomadores de decisão quanto ao monitoramento e ao gerenciamento ambiental.

Animais e plantas foram alvo de estudos específicos com objetivo de identificar indicadores dos impactos de atividades carboníferas sobre os organismos vivos, bem como os aspectos relacionados à saúde pública.

A organização social da região e seu engajamento na melhoria do ambiente ocorreram através de estudos sobre as ações de educação ambiental promovidas por escolas e associações comunitárias.

Quer pela caracterização geral da região, quer pelos estudos específicos, *Carvão e meio ambiente* trata de forma aprofundada e original os mais diversos tópicos associados à problemática da exploração e do uso do carvão e suas conseqüências sobre o meio físico, os organismos vivos e a sociedade.

# Carvão e Meio Ambiente

---

Centro de Ecologia

---

da Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul



Editora  
da Universidade

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESERVA TÉCNICA  
Editora da UFRGS

© dos autores  
1ª edição: 2000

Direitos reservados desta edição  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Capa: Paulo Antonio da Silveira  
Foto da capa: Geraldo Mario Rohde  
Editoração eletrônica: William Wazlawik  
Toni Peterson Lazaro  
Fernando Piccinini Schmitt

---

C397c Centro de Ecologia/UFRGS  
Carvão e meio ambiente/ Centro de Ecologia/UFRGS. – Porto Alegre : Ed. Universidade/UFRGS, 2000.

1. Carvão – Meio ambiente. I. Título.

CDU 622.33:634.0.11

---

Catálogo na publicação: Mônica Ballejo Canto – CRB 10/1023

ISBN 85-7025-563-2

CARV  
C 332

# Carvão

e Meio Ambiente

RESERVA TÉCNICA  
Editora da UFRGS



**UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO  
GRANDE DO SUL**

Reitora

**Wrana Maria Panizzi**

Vice-Reitor

**Nilton Rodrigues Paim**

Pró-Reitor de Extensão

**Luiz Fernando Coelho de Souza**

**EDITORA DA UNIVERSIDADE**

Diretor

**Geraldo F. Huff**

**CONSELHO EDITORIAL**

**Anna Carolina K. P. Regner**

**Christa Berger**

**Eloir Paulo Schenkel**

**Georgina Bond-Buckup**

**José Antonio Costa**

**Livio Amaral**

**Luiza Helena Malta Moll**

**Maria da Graça Krieger**

**Maria Heloisa Lenz**

**Paulo G. Fagundes Vizontini**

**Geraldo F. Huff, presidente**



**Editora da Universidade/UFRGS** • Av. João Pessoa, 415 - 90040-000 - Porto Alegre, RS - Fone/fax (51) 224-8821, 316-4082 e 316-4090 - E-mail: [editora@orion.ufrgs.br](mailto:editora@orion.ufrgs.br) - <http://www.ufrgs.br/editora> • **Direção:** Geraldo Francisco Huff • **Editoração:** Paulo Antonio da Silveira (coordenador), Carla M. Luzzatto, Cláudia Bittencourt, Maria da Glória Almeida dos Santos, Najára Machado • **Administração:** Julio Cesar de Souza Dias (coordenador), José Pereira Brito Filho, Laerte Balbinot Dias, Norival Hermeto Nunes Saucedo • **Apoio:** Idalina Louzada, Laércio Fontoura.

# MODELAGEM CONCEITUAL DE BANCOS DE DADOS GEOGRÁFICOS: O ESTUDO DE CASO DO PROJETO PADCT/CIAMB

Jugurta Lisboa Filho  
Cirano Iochpe  
Heinrich Hasenack  
Eliseu José Weber

## INTRODUÇÃO

Projetar o banco de dados é uma das tarefas mais importantes no desenvolvimento de um sistema de informação. O projeto do banco de dados requer o uso de diferentes instrumentos, uma vez que as atividades necessárias a sua elaboração variam de acordo com a complexidade do sistema, com o tipo de pessoal envolvido, o sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) utilizado, etc. Desta forma, o desenvolvimento de sistemas de banco de dados deve estar baseado em uma metodologia eficaz, a partir da qual são empregados instrumentos específicos de apoio às diferentes etapas do projeto.

A abordagem clássica de projeto de banco de dados consiste em dividir o processo em três etapas: *projeto conceitual*, *projeto lógico*, e *projeto físico* (Elmasri e Navathe, 1994). Na fase do projeto conceitual é elaborado o esquema conceitual do banco de dados, com base em modelos de dados que fornecem construtores de abstração de alto nível para descrever os requisitos de dados da aplicação. Para facilitar a comunicação entre usuários e projetistas são utilizadas linguagens bastante simples, como o modelo E-R (Chen, 1976). No projeto conceitual não são considerados aspectos sobre o sistema de computação (*software/hardware*) utilizado.

Na fase de projeto lógico é elaborado o esquema lógico do banco de dados com base no modelo de SGBD que será utilizado. O esquema lógico é gerado, aplicando-se regras de transformação (mapeamento) dos construtores utilizados no esquema conceitual em elementos de representação de dados de um dos modelos de banco de

dados implementados pelos SGBD disponíveis no mercado (ex.: relacional, hierárquico, objeto-relacional).

No projeto físico, define-se os aspectos de implementação física do banco de dados como, por exemplo, estruturas de armazenamento, caminhos de acesso, particionamento e agrupamento de dados. Estes fatores estão, diretamente, relacionados a um SGBD específico e permitem, ao projetista, planejar aspectos ligados à eficiência do sistema de banco de dados.

Este capítulo enfoca o processo de elaboração do esquema conceitual de dados do Projeto Energia e Meio Ambiente: a questão do carvão no Rio Grande do Sul (PADCT/CIAMB).

O sistema de informação geográfica do Projeto PADCT/CIAMB foi desenvolvido para servir de apoio aos diversos sub-projetos realizados. Estes sub-projetos foram executados por um grupo diversificado de profissionais e não houve a análise inicial dos requisitos do sistema. A modelagem conceitual do Projeto PADCT/CIAMB foi realizada posteriormente ao desenvolvimento do mesmo em um processo conhecido como engenharia reversa. Desta forma, a elaboração do esquema conceitual teve como objetivo servir de instrumento para a integração e a documentação dos dados produzidos durante a execução dos diversos sub-projetos.

## MODELAGEM CONCEITUAL DE BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS

Um modelo de dados fornece uma base formal (notacional e semântica) para ferramentas e técnicas usadas para suportar a modelagem de dados. Modelagem de dados é o processo de abstração onde somente os elementos essenciais da realidade observada são enfatizados, descartando-se os elementos não essenciais. O processo de modelagem conceitual de banco de dados compreende a descrição e definição dos possíveis conteúdos dos dados, além de estruturas e de regras a eles aplicáveis (Figura 1).

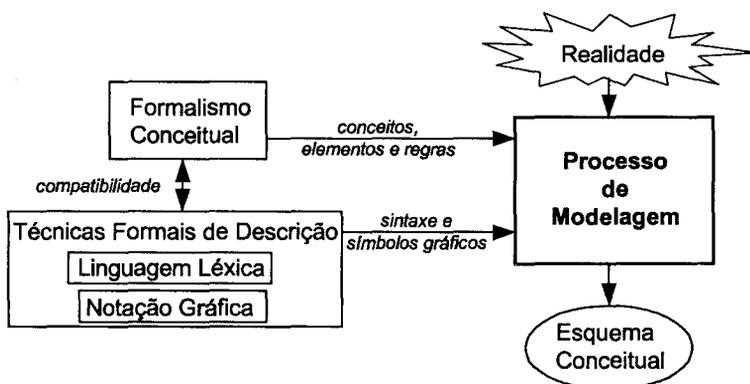


Figura 1 - Processo de modelagem conceitual

A modelagem conceitual é sempre feita com base em algum formalismo conceitual (ex.: Entidade-Relacionamento, Orientação a Objetos), independentemente do nível de abstração empregado (CEN, 1996). O resultado do processo de modelagem, denominado esquema conceitual, é apresentado através de uma linguagem formal de descrição que possui uma sintaxe e uma notação gráfica. Para cada formalismo conceitual, existem diversas linguagens de descrição de esquema que são compatíveis com o formalismo.

O formalismo fornece um conjunto de conceitos, elementos e regras que são usados no processo de modelagem da realidade, enquanto que a linguagem de descrição fornece uma gramática para a apresentação do esquema conceitual resultante da modelagem. A linguagem léxica possibilita o processamento computacional do esquema, enquanto a notação gráfica é mais adequada para facilitar o entendimento e a comunicação entre seres humanos (ex.: usuários e projetistas).

Existem diversos modelos conceituais de dados propostos na literatura especificamente para aplicações de sistemas de informação geográfica (SIG) como, por exemplo, Modul-R (Bédard e outros, 1996), GeoOOA (Kösters e outros, 1997), Geo-ER (Hadzilacos e Tryfona, 1997), GMOD (Pires, 1997), Geo-OMT (Borges, 1997) e MADS (Parent e outros, 1998). A maioria deles baseada nos formalismos Entidade-Relacionamento e da Orientação a Objetos. No entanto, os modelos se diferem muito com relação à notação gráfica e quanto à linguagem léxica (quando definida).

A modelagem conceitual apresenta diversas vantagens para a modelagem de aplicações geográficas. Primeiro, por facilitar a execução do projeto lógico, o qual necessita atender as particularidades de um SIG específico. Os usuários podem expressar seus conhecimentos sobre a aplicação usando conceitos que estão mais próximos a eles sem a necessidade de utilizar jargões computacionais. Como a modelagem conceitual independe do *software* no qual o sistema é implementado, o projeto resultante se mantém válido caso ocorram mudanças de tecnologia. Neste caso, apenas a transformação entre os esquemas conceitual e lógico é afetada. No caso da tecnologia de SIG, isso se torna um fator muito importante, uma vez que grandes investimentos são preservados e há uma redução de custos e aumento das chances de sucesso em caso de mudança para tecnologias mais modernas. Por último, a modelagem conceitual facilita a troca de informações entre parceiros de diferentes organizações, uma vez que aumenta a capacidade de entendimento da semântica da informação, facilitando o uso correto da mesma.

## **Modelagem orientada a objetos**

Um banco de dados pode ser visto como um modelo abstrato de uma porção da realidade, uma vez que seus dados representam um subconjunto de elementos pertencentes a esta realidade (Bédard e outros, 1996). Abstrair uma porção da realidade para projetar um banco de dados implica em selecionar os elementos (objetos) da realidade que são significativos (dentro do objetivo pretendido), identificar como eles podem ser estruturados e os relacionamentos entre eles.

O processo de modelagem conceitual é realizado, utilizando-se mecanismos de abstração, ou seja, construtores básicos definidos pelo formalismo. Uma descrição com-

pleta sobre modelagem de objetos pode ser obtida em (Furlan, 1998). Os principais mecanismos de abstração presentes no formalismo da orientação a objetos estão resumidos a seguir.

– *Classificação* - processo de abstração através do qual os objetos que representam elementos semelhantes têm suas propriedades descritas em uma única *classe*. Estas propriedades podem ser estáticas (estruturais) ou dinâmicas (comportamentais). Todo objeto é *instância* de uma classe. Todas as instâncias de uma classe possuem as mesmas propriedades estáticas, definidas como atributos da classe, e as mesmas propriedades dinâmicas, definidas como operações da classe.

– *Generalização e especialização* - classes que descrevem objetos semelhantes podem ser generalizadas em uma nova classe de mais alto nível. *Generalização* é o processo de definir classes mais genéricas a partir de classes com características semelhantes. *Especialização* é o processo inverso no qual classes mais específicas são detalhadas a partir de classes genéricas, adicionando-se novas propriedades na forma de atributos e/ou operações. Este tipo de abstração estabelece uma hierarquia na qual classes especializadas (denominadas subclasses) herdam as propriedades das classes genéricas (denominadas superclasses).

– *Associação* - tipo de abstração através do qual os relacionamentos entre objetos são especificados. A multiplicidade (ou cardinalidade) de uma associação indica quantos objetos podem estar relacionados através dessa associação. Por exemplo, se uma classe *Município* está associada com uma classe *Estado* com multiplicidade (N:1), significa que toda instância de *Município* está associada a, no máximo, uma instância de *Estado* e cada instância de *Estado* pode estar associada a N instâncias de *Município*.

– *Agregação* - tipo especial de associação que descreve relacionamentos do tipo “é parte de”, onde um objeto complexo é definido como uma agregação de suas partes (ou objetos componentes). Uma variação deste tipo de abstração é a *composição*. Um objeto pertencente a um relacionamento do tipo composição só pode pertencer a um único objeto composto e tem sua existência dependente da existência do objeto composto.

Existem diversas linguagens para especificação de diagramas de classes segundo o formalismo da orientação a objetos. Entre as mais conhecidas pode-se citar OOA (Coad e Yourdon, 1991), OMT (Rumbaugh e outros, 1991) e UML (Booch e outros, 1998). Neste trabalho optou-se por utilizar a notação gráfica do diagrama de classes UML - *Unified Modeling Language* (Booch *et al.*, 1998), seguindo a tendência das áreas de Engenharia de Software e Banco de Dados, reforçado pelo surgimento de ferramentas CASE para projeto de aplicações de SIG como, por exemplo, Perceptory (Bédard, 1999) e REGIS (Isoware, 1999).

A Figura 2 apresenta os principais símbolos gráficos utilizados no diagrama de classes UML. Além dos construtores descritos anteriormente, a figura mostra o elemento *pacote*. Um pacote constitui-se de um conjunto de elementos do modelo UML podendo ser de qualquer tipo como, por exemplo, classes, associações e outros pacotes (Booch e outros, 1998). Pacotes são usados para dividir um esquema de classes em sub-esquemas de forma a tornar seu entendimento mais simples.

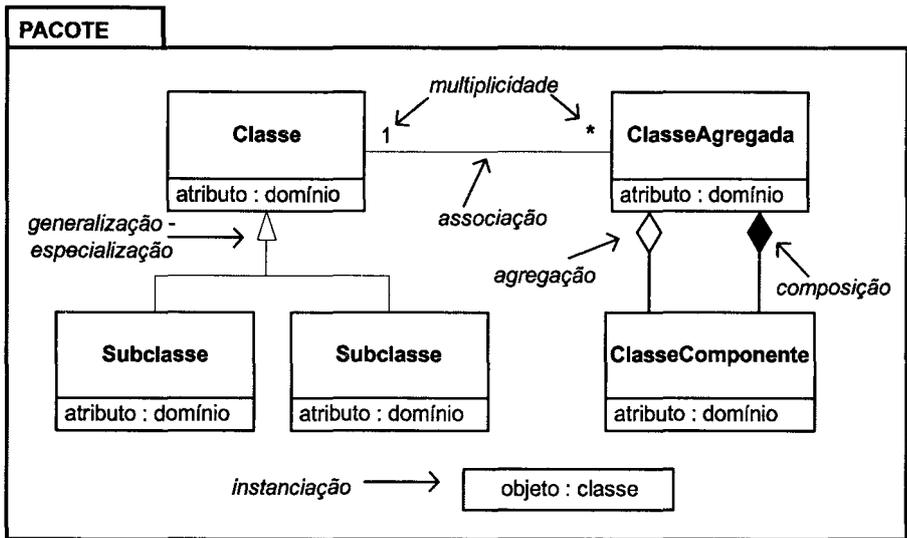


Figura 2 - Notação gráfica do diagrama de classes UML (resumido)

A seguir são descritos os instrumentos de reutilização utilizados no desenvolvimento da modelagem conceitual do Projeto PADCT/CIAMB.

### O framework GeoFrame

GeoFrame é um *framework* conceitual que fornece um diagrama de classes básicas para auxiliar o projetista tanto na modelagem conceitual de dados geográficos como, também, na especificação de padrões de análise em bancos de dados geográficos (Lisboa Filho e Iochpe, 1999).

Souza (1998) define um *framework* como “um projeto genérico em um domínio que pode ser adaptado a aplicações específicas, servindo como um molde para a construção de aplicações”. Esta definição fornece uma visão bem mais abrangente sobre a potencialidade de um *framework* do que as definições apresentadas por autores mais ligados à programação orientada a objetos. Por exemplo, Johnson (1992) define um *framework* como sendo “um projeto reutilizável de um programa, ou parte de um programa, expresso como um conjunto de classes”. GeoFrame é um *framework* definido sob o enfoque mais genérico, onde o mesmo expressa a idéia de um projeto conceitual parcial para uma família de aplicações.

O GeoFrame foi definido de acordo com as regras do formalismo da orientação a objetos, utilizando a notação gráfica do diagrama de classes da linguagem UML (Booch e outros, 1998). A Figura 3 mostra o diagrama de classes do GeoFrame. A seguir, estas classes são descritas em maior detalhe.

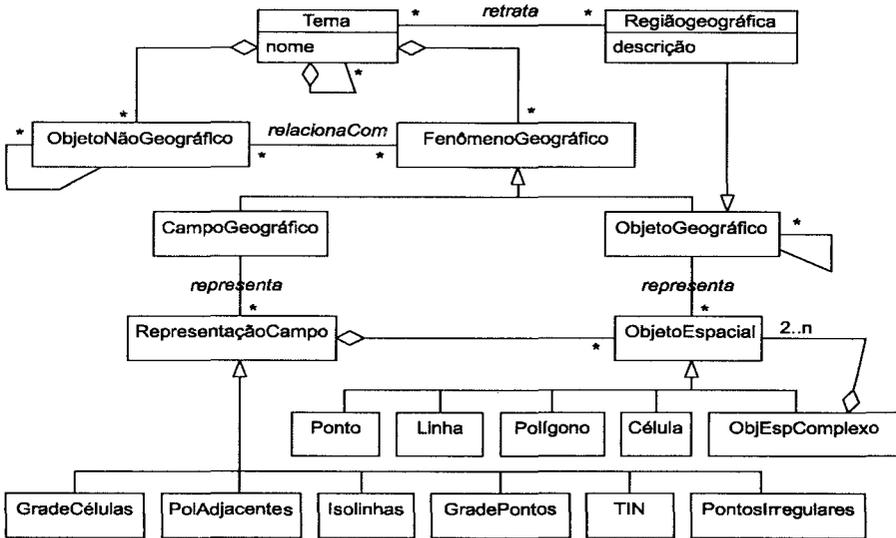


Figura 3 - Diagrama de Classes do GeoFrame

## Tema e RegiãoGeográfica

As classes TEMA e REGIÃO GEOGRÁFICA formam a base de qualquer aplicação geográfica. Cada aplicação geográfica tem como objetivo o gerenciamento e a manipulação de um conjunto de dados para uma determinada região de interesse, constituindo o banco de dados geográfico.

Para cada região geográfica pode-se especificar uma coleção de temas. O agrupamento de classes que descrevem os fenômenos geográficos em temas funciona como um mecanismo para redução da complexidade em grandes esquemas de dados. O uso de temas permite, ao projetista, dividir o esquema de dados em subesquemas coesos, nos quais são agrupadas classes que estão fortemente relacionadas entre si. Conjuntos de temas afins podem ser agrupados em um tema mais genérico, formando uma hierarquia de temas.

## ObjetoNãoGeográfico e FenômenoGeográfico

Em um banco de dados geográficos podem existir, além dos dados referentes a fenômenos georreferenciados, objetos convencionais presentes em qualquer sistema de informação. Objetos que não possuem referência a uma posição geográfica dão origem a subclasses da classe OBJETO NÃO GEOGRÁFICO.

A classe FENÔMENO GEOGRÁFICO generaliza qualquer fenômeno cuja localização em relação à superfície terrestre seja considerada. Por exemplo, um distrito municipal é uma instância de FENÔMENO GEOGRÁFICO, se seus atributos espaciais estiverem representados no banco de dados. Caso contrário, o distrito é definido como um objeto

não geográfico. Fenômenos geográficos e objetos não geográficos estão, muitas vezes, relacionados entre si (associação *relacionaCom* - Figura 3).

### **CampoGeográfico e ObjetoGeográfico**

Fenômenos geográficos são percebidos, na realidade geográfica, segundo as visões dicotômicas de campo e de objeto (Goodchild, 1992). Essas duas visões acarretam diferentes maneiras de modelagem dos fenômenos geográficos. As classes CAMPOGEOGRÁFICO e OBJETO GEOGRÁFICO especializam a classe FENÔMENOGEOGRÁFICO, permitindo ao projetista especificar, de forma distinta porém integrada, os campos e os objetos geográficos respectivamente.

A classe OBJETO GEOGRÁFICO é uma generalização de todas as classes do domínio da aplicação que são percebidas na visão de objetos. Neste caso estão incluídas aquelas classes que representam fenômenos geográficos que podem ser individualizados, ou seja, que possuem identidade própria e suas características podem ser descritas através de atributos (ex.: *Mina, Rio, Rodovia, Município*).

A classe CAMPOGEOGRÁFICO generaliza os fenômenos que se enquadram na visão de campo. Campos geográficos são modelados como funções sobre variáveis. Alguns campos referem-se a variáveis distribuídas sobre a superfície, de forma contínua (ex.: *Altimetria, Temperatura e Cobertura do Solo*), enquanto outros referem-se a variáveis distribuídas de forma discreta (ex.: *População e Ocorrências Epidemiológicas*) (Pires, 1997).

### **ObjetoEspacial**

Em um SIG, a implementação da representação espacial e dos relacionamentos espaciais de um conjunto de objetos geográficos é feita com base em estruturas de dados espaciais. A escolha da melhor estrutura de dados para implementar a representação espacial de cada fenômeno geográfico é uma tarefa posterior ao projeto conceitual, não devendo ser considerada ao longo do mesmo.

Um dos princípios fundamentais da modelagem conceitual é que um esquema conceitual deve conter apenas os elementos do domínio, desconsiderando os aspectos de implementação (Parent e outros, 1998). O objetivo de se incluir, no esquema conceitual, informações sobre objetos espaciais relacionados a fenômenos geográficos é o de permitir a realização da modelagem (abstração) do componente espacial de cada fenômeno.

Portanto, quando se considera pontos, polígonos, isolinhas ou grade de células no GeoFrame, estão sendo tratadas as formas de abstração do componente espacial dos fenômenos geográficos, mas não as formas com que eles serão armazenados no banco de dados, embora na maioria dos SIG atuais existam estruturas de dados muito semelhantes para o armazenamento destes construtores abstratos.

Para efeito de modelagem, o que importa é determinar, por exemplo, se o componente espacial de uma estação meteorológica terá representação pontual ou se um rio terá representação linear. Não é necessário, no entanto, considerar que a representação do rio será armazenada por meio de um arco em uma estrutura vetorial com topologia.

Alguns fenômenos geográficos podem apresentar dimensão espacial complexa, ou seja, composta por outros objetos espaciais (ex.: um arquipélago). A classe OBJETOESPACIAL generaliza as classes necessárias para a especificação da representação do componente espacial dos fenômenos geográficos percebidos na visão de objetos. São elas: PONTO, LINHA, POLÍGONO, CÉLULA e OBJESPACIALCOMPLEXO.

## RepresentaçãoCampo

Os aspectos espaciais de um campo geográfico são abstraídos de forma diferente dos aspectos espaciais de um objeto geográfico. Chrisman (1997) descreve diversos modelos geográficos através dos quais pode-se abstrair o componente espacial da informação geográfica. Os modelos relacionados por Chrisman, os quais são adequados à modelagem de fenômenos na visão de campo, podem ser resumidos nos seis modelos espaciais descritos por Goodchild (1992). São eles: grade de células; polígonos adjacentes; isolinhas; grade de pontos; rede triangular irregular, e pontos amostrados irregularmente. No GeoFrame, esses seis modelos correspondem às subclasses da classe REPRESENTAÇÃOCAMPO.

Em um SIG, esses modelos serão, posteriormente, implementados através dos modelos de representação matricial e vetorial. Cada um dos seis modelos de representação de campos geográficos pode ser implementado tanto no modelo matricial como no modelo vetorial, embora alguns mapeamentos sejam mais naturais. Por exemplo, um campo geográfico cujo componente tenha sido abstraído por meio de uma grade de pontos é mapeado para o modelo de representação matricial.

Um mesmo campo geográfico pode ter seu componente espacial abstraído de diferentes formas, ou seja, através de mais de um desses modelos. Por exemplo, o campo *Temperatura* pode ser abstraído por meio de um conjunto de pontos irregularmente distribuídos ou por meio de isolinhas. Situação semelhante ocorre com os objetos geográficos cujos componentes espaciais podem ser percebidos ora por formas alternativas (ex.: municípios podem ser representados por pontos ou polígonos), ora por formas duplas (ex.: um mesmo rio pode ter um trecho representado por uma linha e outro trecho representado por um polígono), dependendo de aspectos como a escala com a qual se pretende capturar a forma espacial de cada fenômeno.

## Criando esquemas de dados a partir do GeoFrame

Um esquema conceitual de banco de dados geográficos pode ser elaborado a partir da especialização das classes do GeoFrame. A modelagem conceitual de banco de dados geográficos, usando o GeoFrame, é realizada segundo uma abordagem *top-down* composta de três etapas. Inicialmente são identificados, para cada área geográfica, os diversos temas (e sub-temas) a serem projetados. Na segunda etapa é definido um subesquema de classes para cada tema identificado. Ainda nessa etapa, é feita a especificação das associações entre classes de diferentes temas. Por último, é realizada a análise e modelagem do tipo de representação espacial de cada fenômeno geográfico identificado. A seguir, cada uma dessas fases é descrita. Ao longo desta descrição serão introduzidos alguns mecanismos de simplificação de esquemas do GeoFrame.

## Diagrama de temas

Conforme mostrado na Figura 3, cada região geográfica é retratada por zero ou mais temas. No entanto, um mesmo tema também pode estar associado a mais de uma região geográfica. Um tema é especificado como uma agregação de classes de fenômenos geográficos, de objetos não geográficos e de outros temas mais específicos.

Para aumentar a legibilidade do esquema resultante, os temas definidos pelo projetista não são modelados como subclasses da classe TEMA, mas através do construtor *Pacote*, da linguagem UML.

## Especificando fenômenos geográficos e objetos não-geográficos

Na abordagem orientada a objetos, um esquema de banco de dados geográficos é representado pelo diagrama de classes que descrevem os fenômenos geográficos, os objetos não-geográficos e os possíveis relacionamentos entre eles.

Cada classe identificada no domínio da aplicação deve ser modelada como subclasse de uma das seguintes classes do GeoFrame: OBJETO NÃO GEOGRÁFICO; CAMPO GEOGRÁFICO; ou OBJETO GEOGRÁFICO.

Para evitar a sobrecarga visual do diagrama devido ao grande número de ligações, é utilizado um mecanismo de simplificação de esquemas denominado *estereótipo*. Um estereótipo estende o vocabulário UML permitindo ao projetista criar novos tipos de construtores que podem ser empregados como qualquer outro elemento da linguagem (Booch *et al.*, 1998). Para substituir os relacionamentos de generalização entre as classes do domínio e as classes do GeoFrame, são utilizados três estereótipos (Figura 4).

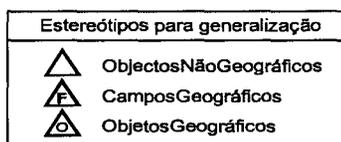


Figura 4 - Estereótipos para generalização

## Especificando o componente espacial dos fenômenos geográficos

No GeoFrame todo campo e objeto geográfico pode ser representado por múltiplas instâncias das classes REPRESENTAÇÃO CAMPO e OBJETO ESPACIAL respectivamente. Um fenômeno geográfico pode ter múltiplas representações por vários motivos. Dentre eles, pode-se citar a necessidade de múltiplas escalas, usuários com diferentes visões de um mesmo fenômeno e versões temporais.

A possibilidade de se ter múltiplas representações para um mesmo fenômeno geográfico é modelada através de diferentes associações entre o fenômeno geográfico e as possíveis formas de abstração de seu componente espacial (associação *representa* na Figura 3). No GeoFrame estas variações podem ser especificadas através da combinação livre de diferentes estereótipos em uma mesma classe com documentação adicional no dicionário de dados.

Um segundo conjunto de estereótipos (Figura 5) é usado para substituir as associações que resultam da modelagem do componente espacial dos fenômenos geográficos. A semântica de cada estereótipo, neste caso, é a substituição de uma associação entre o fenômeno geográfico e sua representação espacial, além da indicação da forma geométrica de tal representação.

ObjetoEspacial	RepresentaçãoCampo	
 Ponto	 GradeCélulas	 GradePontos
 Linha	 PolAdjacentes	 TIN
 Polígono	 Isolinhas	 PontosIrregulares
 ObjComplexo		

Figura 5 - Estereótipos para associação

## Padrões de análise

O segundo instrumento de reutilização empregado na modelagem do Projeto PADCT/CIAMB é o padrão de análise. Normalmente, durante a fase de modelagem conceitual de dados de aplicações geográficas, um grande número de fenômenos geográficos (e de relacionamentos entre eles) é identificado. Segundo Gordillo e Balguer (1998), um projetista experiente desenvolve seus modelos a partir do conhecimento prévio de um conjunto de entidades interrelacionadas, ao invés de sempre partir da estaca zero. Estes projetistas reutilizam parte de trabalhos desenvolvidos anteriormente para resolver novos problemas similares. No entanto, projetistas menos experientes não podem reutilizar soluções já validadas pois, normalmente, a documentação dos sistemas ou não existe, ou é insuficiente.

Conceitos como *frameworks* e padrões (do inglês *patterns*) estão se tornando, cada vez mais, importantes instrumentos no desenvolvimento de sistemas orientados a objetos. Segundo Buschmann (1996), existem três categorias de padrões: *padrões de arquitetura*, *padrões de projeto*, e *idiomas*. As duas primeiras categorias incluem os padrões relacionados com a fase de projeto do sistema, mas são aplicadas em problemas de diferentes escalas. Os padrões de projeto são mais abstratos (e menores) do que os padrões de arquitetura, enquanto que idiomas são usados em nível de linguagens de programação.

Uma quarta categoria de padrões, introduzida por Fowler (1997), inclui os *padrões de análise*. Estes padrões são usados para descrever soluções empregadas durante as fases de análise de requisitos e modelagem conceitual dos dados. Padrões de análise refletem estruturas conceituais do domínio da aplicação e não soluções computacionais. Fowler define um padrão de análise como *uma idéia que se provou útil em um contexto prático e que, provavelmente, será útil em outras situações similares*.

O emprego de padrões de análise no projeto de aplicações geográficas facilita a modelagem dessas aplicações devido à grande interseção entre conjuntos de fenômenos geográficos que interessam às aplicações de um mesmo domínio (Lisboa Filho e outros, 1998). Por exemplo, aplicações na área de controle ambiental, como é o caso do

Projeto PADCT/CIAMB, manipulam fenômenos geográficos pertencentes a temas comuns da área (ex.: hidrografia, clima, vegetação). Embora existam diferenças, principalmente em relação aos atributos modelados, pois dependem do enfoque definido pelo usuário, o conjunto de classes e seus relacionamentos quase sempre é o mesmo dentro de um tema específico.

A modelagem conceitual de dados do Projeto PADCT/CIAMB baseou-se em padrões de análise identificados durante o desenvolvimento de outras aplicações geográficas na área de controle ambiental (Lisboa Filho e Iochpe, 1996 e Lisboa Filho e outros, 1997). Além disso, possibilitou a identificação de novos candidatos a padrões de análise.

## **MODELAGEM CONCEITUAL DE DADOS DO PROJETO PADCT/CIAMB**

### **Descrição do Projeto**

O projeto Energia e Meio Ambiente: a questão do carvão no Rio Grande do Sul (PADCT/CIAMB) é um trabalho que envolveu inúmeras equipes de pesquisadores e estudantes de diferentes unidades da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, 1997). O objetivo foi o exercício de um trabalho interdisciplinar tendo como tema o estudo de uma região tradicionalmente produtora e consumidora de carvão, produto de potencial econômico limitado e grande potencial poluidor. O carvão já vem sendo explorado na região do baixo Jacuí (Figura 6) desde a segunda metade do século passado em minas subterrâneas e há algumas décadas também a céu aberto. O comprometimento ambiental da extração e uso é bastante conhecido, embora estudado sempre parcialmente.

Para possibilitar a realização de uma análise multidisciplinar e integrativa, buscou-se investigar os aspectos socioeconômicos e ambientais de modo a realizar um diagnóstico do potencial econômico regional e dos meios de recuperação ambiental de áreas degradadas em função da exploração ou da deposição dos rejeitos. Também a busca de alternativas tecnológicas para recuperação de áreas, para uma exploração mais racional bem como o encaminhamento político e jurídico de questões ligadas ao acompanhamento da exploração e a conscientização da população sobre as vantagens e as limitações da exploração carbonífera (efeitos na economia e na saúde pública) foram alvo do projeto.

Esta gama variada de objetivos, ora de abrangência regional ora local, gerou um conjunto de dados amplo e complexo, devido à natureza e abrangência temporal e espacial dos dados gerados. Estes dados estão distribuídos em diversos meios digitais (SIG) e analógicos (relatórios técnicos). A integração dos diversos grupos de pesquisadores passa necessariamente pelo intercâmbio de dados, tanto para verificação quanto para a geração de novos dados derivados.

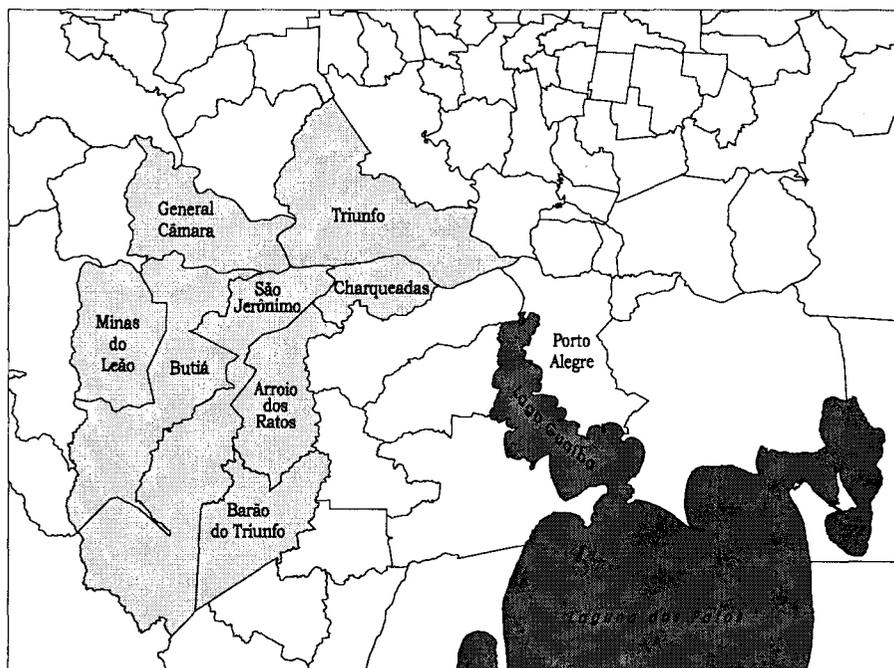


Figura 6 - Região Carbonífera do RS, Micro-região São Jerônimo

## Esquema conceitual de dados do Projeto PADCT/CIAMB

A metodologia empregada na modelagem conceitual dos dados do Projeto PADCT/CIAMB seguiu uma abordagem inversa a que ocorre na maioria dos sistemas. Utilizando-se técnicas da engenharia reversa (Heuser, 1998), partiu-se de uma análise dos dados existentes no SIG do projeto, bem como de análise em outras fontes como relatórios e entrevistas com executores do projeto, para gerar o esquema conceitual, tendo como base o GeoFrame e padrões de análise existentes.

Inicialmente, identificou-se os diversos temas para os quais existe algum tipo de dado. Tais temas, denominados de sub-temas, foram agrupados em dois temas mais genéricos: *Meio\_Antropico* e *Meio\_Biótico\_e\_Abiótico* (Figura 7). De acordo com o GeoFrame, os temas retratam uma região geográfica. A região geográfica em questão é a região carbonífera do baixo Jacuí, representada como uma instância da classe REGIÃOGEGRÁFICA.

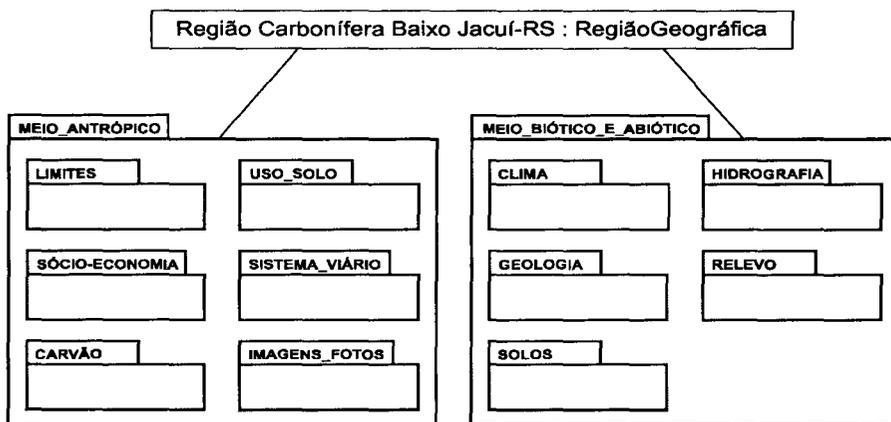


Figura 7 - Diagrama de temas

As Figuras 8 e 9 apresentam, respectivamente, o detalhamento (diagramas de classes) dos diversos sub-temas dos temas *Meio Antrópico* e *Meio Biótico e Abiótico*. A seguir é apresentada uma descrição sucinta das principais classes identificadas em cada tema.

### Tema Meio Antrópico

O tema *Meio Antrópico* (Figura 8) agrega seis sub-temas: *Socioeconomia*, *Uso\_Solo*, *Limites*, *Ativ\_Carbonífera*, *Sistema\_Viário*, e *Imagens\_Fotos*.

O sub-tema *Limites* engloba as classes daqueles fenômenos geográficos que são utilizados como unidades espaciais. A classe *Município*, subclasse de OBJETO GEOGRÁFICO, é a principal unidade de mapeamento do projeto, cujos dados foram obtidos a partir de mapas analógicos em escala 1:50.000. Todos os municípios cadastrados fazem parte da única micro-região do projeto, a micro região de São Jerônimo. Um município possui diversos distritos (sem representação espacial), sendo que um deles, o distrito sede do município, possui representação espacial pontual. Dados de vários censos demográficos foram levantados junto ao IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Neves e Chaves, 1997). Para cada ano do censo demográfico existe uma divisão de setores censitários, modelados no classe *Setor\_Censitário*, subclasse de OBJ GEOGRÁFICO com representação espacial do tipo polígono. A classe *Censo*, subclasse de OBJ NÃO GEOGRÁFICO contém, para cada ano do censo, os dados sobre população rural e urbana.

O sub-tema *Socioeconomia* agrupa, apenas, dados descritivos modelados como subclasses de OBJETO NÃO GEOGRÁFICO. Todos eles estão associados à classe *Município*. Exemplos de tipos de atividade econômica incluem indústria geral, agricultura, extração mineral e comércio. Informações sobre número de empregados estão separadas por gênero industrial como, por exemplo, extração de minerais, metalurgia, madeira, química e têxtil (Souza e Bittencourt, 1997). Para cada município, também é mantido o valor do produto interno bruto (PIB) anual.

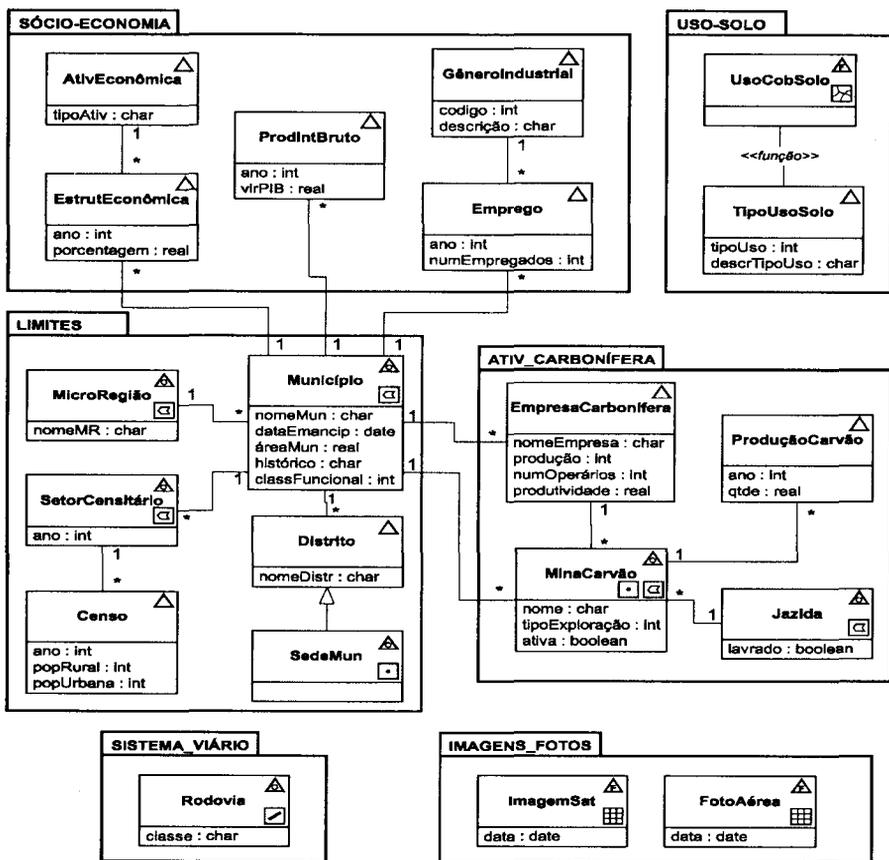


Figura 8 - Tema Meio Antrópico

O sub-tema *Uso-Solo* foi modelado com base no padrão de análise *Campo Geográfico Categórico* (Lisboa Filho, 1997). A classe *UsoCobSolo*, subclasse de *CAMPOGEOGRÁFICO* tem seu componente espacial abstraído como polígonos adjacentes. Os tipos de uso identificados são modelados na classe *TipoUsoSolo*, subclasse de *OBJNÃOGEOGRÁFICO*. A associação entre as classes *UsoCobSolo* e *TipoUsoSolo* é uma associação do tipo estereótipo, representada pela expressão <<função>>. O estereótipo, neste caso, foi usado para reforçar a idéia de que esta associação é uma função do espaço (região sobre a qual ocorre o campo *Uso e Cobertura do Solo*) em um domínio (*Tipos de Uso do Solo*), mas não uma simples associação entre duas instâncias de objetos.

Por último, os sub-temas *Sistema\_Viário* e *Imagens\_Fotos* são temas básicos, cujas informações são utilizadas para gerar outras informações. Por exemplo, imagens Landsat foram utilizadas para confecção do mapa de uso e cobertura do solo, enquanto fotos aéreas foram usadas na confecção do mapa de solos. As rodovias não estão individualizadas, estando apenas classificadas como principal, secundária e caminho.

## Tema Meio\_Biótico\_e\_Abiótico

O tema *Meio\_Biótico\_e\_Abiótico* (Figura 9) agrega cinco sub-temas: *Hidrografia*, *Clima*, *Solos*, *Geologia*, e *Relevo*.

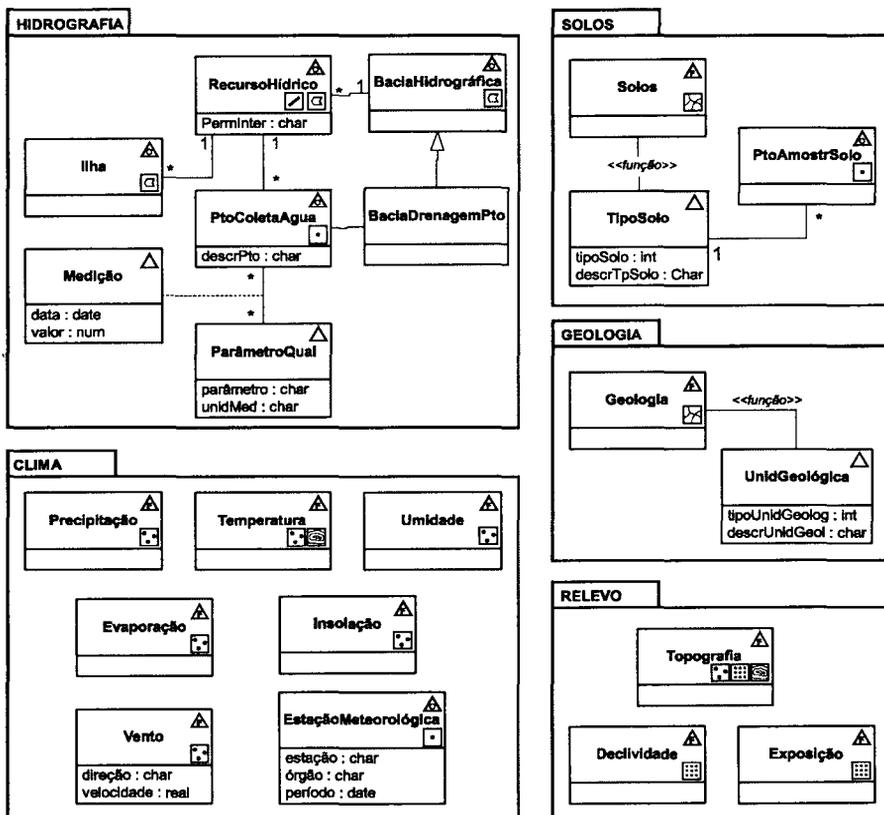


Figura 9 - Tema Meio Biótico e Abiótico

O sub-tema *Hidrografia* engloba classes como *RecursoHídrico*, que tem como principal instância o rio Jacuí em sua parte mais próxima da foz no lago do Guaíba. Os recursos hídricos estão classificados apenas como permanentes ou intermitentes. O rio Jacuí possui representação espacial poligonal, enquanto os demais rios da região estão representados de forma linear. Existem diversos pontos de coleta de amostragem de água, para os quais foram realizadas análises envolvendo diversos parâmetros (Almada e Würdig, 1997). Além das bacias hidrográficas dos principais afluentes do rio Jacuí, foram definidas bacias de drenagem para alguns pontos de amostragem. Devido à herança de propriedades na especialização, a classe *BaciaDrenagemPto* é uma subclasse de *OBJGEOGRÁFICO* com representação espacial do tipo polígono. A existência de algumas peque-

nas ilhas originou a classe *Ilha*, para a qual existe apenas representação espacial. A modelagem do sub-tema *Hidrografia* foi realizada com base nos padrões de análise *Hidrografia* e *Parâmetros de Qualidade Ambiental*, definidos em (Lisboa Filho e Iochpe, 1997).

O sub-tema *Clima* foi especificado com base no padrão de análise *Campo Geográfico Numérico* (Lisboa Filho e Iochpe, 1997). Com base em informações coletadas em uma série de estações meteorológicas, cuja classe é subclasse de *Objeto Geográfico* (com representação pontual), várias variáveis contínuas foram medidas, as quais deram origem aos seguintes campos geográficos: *Precipitação*, *Temperatura*, *Umidade*, *Vento*, *Evaporação* e *Insolação* (Ferraro e Hasenack, 1997).

O sub-tema *Relevo* engloba três classes: *Topografia*, *Declividade*, e *Exposição*. A classe *Topografia* foi modelada com três formas espaciais, ou seja, três formas distintas de abstração de seu componente espacial: *Pontos Irregulares* (pontos contados); *Isolinhas* (curvas de nível); e *GradePontos* (modelo numérico de terreno - MNT). As classes *Declividade* e *Exposição* são derivadas do modelo numérico de terreno, mantendo o mesmo tipo de componente espacial, ou seja, *GradePontos*.

Como o sub-tema *Uso\_Solo* (Figura 8), os sub-temas *Solos* e *Geologia* foram modelados com base no padrão de análise *Campo Geográfico Categórico* (Lisboa Filho e Iochpe, 1997). O sub-tema *Solos* possui ainda a classe *Pto.AmostrSolo*, cujas instâncias indicam a localização dos pontos de coleta para os quais existem uma série de dados referentes às análises de solos realizadas com as amostras de solos coletadas nestes pontos (Schneider *et al.*, 1997).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto conceitual de banco de dados, embora seja uma etapa a ser realizada no início do ciclo de vida do desenvolvimento de sistemas, mostrou-se útil mesmo sendo realizado após a existência do sistema. Isto porque o esquema conceitual do banco de dados do Projeto PADCT/CIAMB possibilita ao usuário obter uma visão global dos dados produzidos durante o desenvolvimento do projeto.

Embora as metodologias de desenvolvimento de *software* incluam uma etapa inicial de projeto conceitual, o desenvolvimento de aplicações apoiadas em SIG tem sido realizado, muitas vezes, de forma incremental e diretamente no *software* de SIG. A consequência disso é que, com frequência, ocorrem problemas que poderiam ter sido evitados através da modelagem conceitual (ex.: redundância de dados e ausência de relacionamentos importantes).

Durante a elaboração do esquema conceitual do Projeto PADCT/CIAMB, alguns conjuntos de dados redundantes foram identificados (ex.: dados sobre senso demográfico obtidos de diferentes fontes e estruturados de forma distinta e não relacionada). Também foram identificados alguns dados muito específicos a um determinado sub-projeto, que não foram incorporados ao esquema, uma vez que esses dados permanecerão apenas registrados nos relatórios dos sub-projetos e não farão parte do banco de dados digital (ex.: dados sobre índices de contaminação do sangue humano através de resíduos de carvão).

A elaboração do esquema conceitual com base no GeoFrame apresenta algumas vantagens importantes. Dentre as quais, pode-se citar:

– o esquema de dados final torna-se bastante claro, uma vez que apenas os elementos essenciais da aplicação são modelados;

– o uso de estereótipos permite, sem sobrecarregar visualmente o esquema, a fácil diferenciação entre os objetos não geográficos e os fenômenos geográficos (campos e objetos);

– a divisão do diagrama de classes em temas, especificado através de pacotes, torna o esquema fácil de ser lido, uma vez que a atenção do leitor pode se ater a apenas uma pequena parte do esquema por vez;

– devido ao alto nível de acoplamento entre as classes dentro de um mesmo tema, o número de associações entre classes de diferentes temas fica reduzido, contribuindo para a clareza do esquema.

A ocorrência de um mesmo tema em diversas aplicações de SIG possibilita ao projetista identificar padrões de análise a serem reutilizados durante a modelagem de uma nova aplicação. O uso dos padrões de análise *Parâmetros de Qualidade Ambiental*, *Campo Geográfico Categórico*, *Campo Geográfico Numérico* e *Hidrografia* reduziu o tempo gasto no projeto e a possibilidade de erros de modelagem, uma vez que esses padrões já foram testados anteriormente em outros sistemas (Lisboa Filho e Iochpe, 1996 e Lisboa Filho e outros, 1997). Um novo sub-esquema candidato a padrão de análise diz respeito ao tema *Limites*, cujas classes (ex.: *Município*, *Distrito*) parecem ser recorrentes em outras aplicações de SIG.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMADA, C. M. W.; WÜRDIG, N. L. Avaliação da fauna bentônica em ambiente aquático da região carbonífera. In: *Energia e meio ambiente: a questão do carvão no Rio Grande do Sul*. Sedimentologia. Porto Alegre, Centro de Ecologia/UFRGS. Relatório final Projeto PADCT-CIAMB, 1997. v.5
- BÉDARD, Y.; CARON, C.; MAAMAR, Z.; MOULIN, B.; VALLIÈRE, D. Adapting data models for the design of spatio-temporal databases. *Computer, Environment, and Urban Systems*, v.20, n.1, 1996.
- BÉDARD, Y. Visual modeling of spatial databases: towards spatial PVL and UML. *Geomatica*, June, 1999.
- BOOCH, G.; JACOBSON, I.; RUMBAUGH, J. *The unified modeling language user guide*. Addison-Wesley, 1998)
- BORGES, K. A. V. *Modelagem de dados geográficos: uma extensão do modelo OMT para aplicações geográficas*. Belo Horizonte, 199. Dissertação de Mestrado - Fundação João Pinheiro.
- BUSCHMANN, F.; MEUNIER, R.; ROHNERT, H.; SOMMERLAD, P.; STAL, M. *Pattern-oriented software architecture: a system of patterns*. New York: John Wiley, 1996.
- CHRISMAN, N. *Exploring geographic information systems*. New York: John Wiley, 1997.
- COAD, P.; YOURDON, E. *Object-oriented analysis*. 2.ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1991.
- CEN. European committee for Standardization. *Geographic information – data description – conceptual schema language*. Brussels: CEN, 1996. (Report CR 287005.)

- CHEN, P. P. S. The entity-relationship model: towards a unified view of data. *ACM Trans. Database System*, New York, n.1, 1976.
- ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. *Fundamentals of database systems*. 2.ed. Menlo Park, CA: Addison-Wesley, 1994.
- FERRARO, L. W.; HASENACK, H. Avaliação das variáveis climáticas de superfície do baixo Jacuí, RS. In: *Energia e Meio Ambiente: a questão do carvão no Rio Grande do Sul*. Clima e recursos hídricos, v.4. Porto Alegre, Centro de Ecologia/UFRGS. 1997. Relatório final Projeto PADCT-CIAMB.
- FOWLER, M. *Analysis patterns: reusable object models*. Menlo Park, CA: Addison Wesley Longman, 1997..
- FURLAN, J. D. *Modelagem de objetos através da UML: the unified modeling language*. São Paulo: Makron Books, 1998.
- GOODCHILD, M. F. Geographical data modeling. *Computers & Geosciences*, London, v.18, n.4, 1992.
- GORDILLO, S.; BALAGUER, F. Refining an object-oriented GIS design model: topologies and field data. ACM SYMPOSIUM ON GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, 6. *Proceedings...*, Washington, 1998.
- HADZILACOS, T.; TRYFONA, N. An extended entity-relationship model for geographic applications. *SIGMOD Record*, v.26, n.3, 1997.
- HEUSER, C. A. *Projeto de banco de dados*. Porto Alegre: Sagra Luzzato, 1998. (Série livros didáticos, número 4.)
- ISOWARE. *CASE-Toll REGIS*. Available at <http://www.isoware.de/>, 1999.
- JOHNSON, R. E. Documenting frameworks using patterns. *OBJECT-ORIENTED PROGRAMMING SYSTEMS, LANGUAGES AND APPLICATIONS CONFERENCE - OOPSLA, Proceedings...*, Vancouver, 1992.
- KÖSTERS, G.; PAGEL, B. U.; SIX, H. W. GIS - Application development with GeoOOA. *International Journal of Geographical Information Science*, v.11, n.4, 1997.
- LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C. Adaptando o modelo de objetos OMT para modelagem conceitual de aplicações de SIG. SEGEO-RJ, 1. *Anais...*, Rio de Janeiro, 1996.
- LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C.; GARAFFA, I. M. Modelos conceituais de dados para aplicações geográficas: uma experiência com um SIG interinstitucional. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 4. *Anais...*, São Paulo, 1997.
- LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C.; BEARD, K. Applying analysis patterns in the GIS domain. ANNUAL COLLOQUIUM OF THE SPATIAL INFORMATION RESEARCH CENTRE, 10. *Proceedings...*, Dunedin, NZ, 1998.
- LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C. Specifying analysis patterns for geographic databases on the basis of a conceptual framework. ACM SYMPOSIUM ON ADVANCES IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, 7. *Proceedings...*, Kansas City, USA. 1999.
- LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C. *Padrões de análise para banco de dados geográficos*, 1997. A ser publicado.
- NEVES, G. R.; CHAVES, S. H. A. Notas para o estudo da região carbonífera tradicional do Rio Grande do Sul. *Energia e meio ambiente: a questão do carvão no Rio Grande do Sul*. Meio antrópico. Porto Alegre, Centro de Ecologia/UFRGS, 1997. v.2. Relatório final Projeto PADCT-CIAMB.
- PARENT, C.; SPACCAPIETRA, S.; ZIMANYI, E.; DOMINI, P.; PLAZANET, C.; VANGENOT, C. Modeling spatial data in the MADS conceptual model. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL DATA HANDLING. *Proceedings...*, Vancouver, Canada, 1998.
- PIRES, F. *Um ambiente computacional para modelagem de aplicações geográficas*. Campinas, 1997. Tese de Doutorado - Unicamp, Instituto de Computação.

- RUMBAUGH, J.; BLAHA, M.; PREMERLANI, W.; EDDY, F.; LORENSEN, W. *Object-oriented modeling and design*. New Jersey: Prentice-Hall, 1991.
- SCHNEIDER, P.; KÄMPF, N.; GIASSON, E. Solos da bacia carbonífera do Baixo Jacuí, RS. *Energia e meio ambiente: a questão do carvão no Rio Grande do Sul*. Vegetação e solos. Porto Alegre, Centro de Ecologia/UFRGS, 1997. v.3. Relatório final Projeto PADCT-CIAMB.
- SOUZA, N. J.; BITTENCOURT, J. L. Aspectos globais da região carbonífera do Rio Grande do Sul. *Energia e meio ambiente: a questão do carvão no Rio Grande do Sul*. Meio antrópico. Porto Alegre, Centro de Ecologia/UFRGS, 1997. v.2. Relatório final Projeto PADCT-CIAMB.
- SOUZA, C. R. B. *Um framework para editores de diagramas cooperativos baseados em anotações*. Campinas, 1998. Dissertação de Mestrado - Unicamp.
- UFRGS. *Energia e meio ambiente: a questão do carvão no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Centro de Ecologia/UFRGS. 1997. v.1. Relatório final Projeto PADCT-CIAMB.