

Banco de Dados Geográficos: Estudo de Caso da Aplicação das Extensões

Vívian Maria Paiva

Universidade Federal de Juiz de Fora
Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação
Bacharelado em Ciência da Computação

Orientador: Prof. Tarcísio de Souza Lima



Juiz de Fora, MG
Julho de 2007

Banco de Dados Geográficos: Estudo de Caso da Aplicação das Extensões

Vívian Maria Paiva

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Ciência da Computação do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Juiz de Fora, como parte integrante dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada pela banca constituída pelos seguintes professores:

Prof. Tarcísio de Souza Lima – orientador
MSc. em Informática, PUC/RJ, 1988

Profa. Regina Maria Maciel Braga
DSc. em Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE/UFRJ, 2000

Profa. Clarice Cassab
Ms. em Planejamento Urbano e Regional, UFRJ, 2004

Juiz de Fora, MG
Julho de 2007

Agradecimentos

A graduação trouxe para mim não apenas conhecimento, mas também uma lição de vida. Agradeço com carinho todas as pessoas que contribuíram nessa jornada.

A Deus por ter me guiado para esse Curso e por ter me dado fé, esperança e persistência para superar os obstáculos que, eventualmente, surgiram durante o decorrer dessa etapa. Por ter colocado tantas pessoas especiais no meu caminho e força para evoluir.

A todos os professores do Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Juiz de Fora meus sinceros agradecimentos pelo conhecimento passado, motivação, carinho, apoio e compreensão.

Ao professor Tarcísio de Souza Lima por ter acreditado e me apoiado, obrigada pela orientação e amizade.

Às coordenadoras dos Projetos Mapeamento e Observatório da Rede Sócio-Assistencial da Infância e Juventude de Juiz de Fora, Maria Carolina Portella e Clarice Cassab, pela oportunidade e estrutura. Agradeço ainda, todos os envolvidos nesses projetos pelo carinho e apoio.

Aos meus amigos que se preocuparam, participaram e torceram por mim, muito obrigada pela ajuda e amizade.

Ao Ricardo, meu namorado, pelo incentivo, apoio, compreensão, paciência, companheirismo e amor. Agradeço também a seus pais e sua madrinha pelo carinho e apoio nos momentos difíceis.

Ao dentista Dr. João Paulo Moreira Rezende, ao médico Dr. Leonardo Vieira e ao psicólogo João Marcos pelo trabalho, apoio e carinho.

Não posso deixar de agradecer a toda minha família, principalmente meus pais, irmão e avós por terem me incentivado e possibilitado a realização desse sonho, além de ter me dado amor e apoio incondicional.

É difícil expressar em palavras a gratidão que sinto por todos vocês. Enfim, a todos meus sinceros agradecimentos.

Sumário

Lista de tabelas	v
Lista de figuras	vi
Lista de reduções	vii
Resumo	viii
Capítulo 1 – Introdução	1
1.1 Motivação	2
1.2 Organização	2
Capítulo 2 – Sistemas de Informação Geográfica	3
2.1 Geoprocessamento	3
2.2 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	4
2.3 Evolução do SIG	7
2.4 Dados convencionais <i>versus</i> dados espaciais	8
2.5 SGBDs Convencionais <i>versus</i> SGBDs Espaciais	9
2.6 Arquitetura de um SIG	11
2.6.1 Gerência de dados em um SIG (Arquiteturas Dual e Integrada)	12
2.6.1.1 Arquitetura Dual	13
2.6.1.2 Arquitetura Integrada	13
2.6.2 Métodos de acesso para dados espaciais	16
2.6.3 Otimização de consulta	18
2.7 Conclusão	20
Capítulo 3 – Conceitos básicos das extensões espaciais	21
3.1 OCG e OpenGIS	21
3.2 Arquitetura do OpenGIS	22
3.2.1 Modelos de classes para objetos espaciais	23
3.2.2 Exemplos de alguns tipos de geometria	25
3.2.2.1 Tipo Ponto (<i>Point</i>)	25
3.2.2.2 Tipo Cadeia de Linhas (<i>LineString</i>)	26
3.2.2.3 Tipo Cadeia Multilinhas (<i>MultiLineString</i>)	27
3.2.2.4 Tipo Polígono (<i>Polygon</i>)	27
3.2.2.5 Outros tipos Geométricos	28
3.2.3 Métodos Espaciais	28
3.2.3.1 Métodos da classe Geometria	28
3.2.3.2 Métodos para verificar relações espaciais entre objetos geométricos	29
3.2.3.3 Métodos de operação de conjunto entre objetos geométricos	30
3.2.4 Sistema de Coordenadas	30
3.3 SQL do OpenGIS	34
3.3.1 Construtor da Linguagem	34
3.3.2 Funções de Consulta SQL	35
3.3.2.1 Funções que testam relações espaciais (Relacionamentos Topológicos)	36
3.3.2.2 Funções que implementam operações de conjunto	36
3.4 Conclusão	36
Capítulo 4 – SGBDs com extensões espaciais	38
4.1 Comparação das extensões espaciais	39
4.1.1 IBM DB2 <i>Spatial Extender</i>	39
4.1.2 Informix <i>Spatial Datablade</i>	43
4.1.3 MySQL	44
4.1.4 <i>Oracle Spatial</i>	46
4.1.5 PostGIS	48

4.1.5.1 Tabela de Sistemas de Referências Espacial (SPATIAL_REF_SYS)	49
4.1.5.2. Tabela de Colunas Geométricas (GEOMETRY_COLUMNS)	51
4.1.5.3 Operadores espaciais	52
4.2 Resumo das extensões espaciais	53
Capítulo 5 – ESTUDO DE CASO: Mapeamento e Observatório da Rede de Atendimento Sócio-Assistencial à Infância e Juventude em Juiz de Fora	55
5.1 Ferramentas e recursos utilizados	59
5.2 Passos do processo de construção de um banco de dados geo-referenciado	60
5.2.1 Primeiro passo: modelagem do banco de dados	60
5.2.2 Segundo passo: criação do banco de dados	60
5.2.3 Terceiro passo: implementação dos formulários	61
5.2.4 Quarto passo: implementação das funcionalidades do mapa	63
5.2.5 Quinto passo: implementação das funcionalidades do website	63
5.3 Extensão PostGIS	63
5.4 Consulta	65
5.5 Conclusão	67
Capítulo 6 – Conclusão	68
Referências bibliográficas	69
Glossário	72
Anexo A	A1-A2
Anexo B	B1

Lista de tabelas

Tabela 4.1 – SGBDs e suas extensões espaciais

Tabela 4.2 – Tabela de metadados das tabelas com colunas espaciais

Tabela 4.3 – Tabela de metadados do sistema de coordenadas

Tabela 4.4 – Resumo das características das extensões espaciais

Lista de figuras

- Figura 1.1 – Contexto das extensões espaciais
- Figura 2.1 – Arquitetura de um SIG
- Figura 2.2 – Aspectos tecnológicos de SIG
- Figura 2.3 – Contexto de um SIG
- Figura 2.4 – Arquitetura Dual
- Figura 2.5 – Arquitetura Integrada
- Figura 2.6 – Processamento de consultas espaciais
- Figura 3.1 – Hierarquia de Classe Geométrica
- Figura 3.2 – Hierarquia de geometrias
- Figura 3.3 – Objeto espacial do tipo Ponto
- Figura 3.4 – Objeto espacial do tipo Cadeia de Linhas
- Figura 3.5 – Objeto espacial do tipo Cadeia Multilinhas
- Figura 3.6 – Objeto espacial do tipo Polígono
- Figura 3.7 – Sistema de Coordenadas Geográficas
- Figura 3.8 – Diferentes dimensões na graticula
- Figura 3.9 – Formas geométricas de representação da Terra
- Figura 3.10 – Alinhamento de *datums*
- Figura 3.11 – Relacionamento entre os tipos geométricos e subtipos do OpenGIS
- Figura 4.1 – Hierarquia de tipos de dados espaciais
- Figura 4.2 – Modelo de Geometria do Oracle Spatial
- Figura 4.3 – Tipos primitivos do Oracle Spatial
- Figura 5.1 – Link Consulta
- Figura 5.2 – Página de resultado da consulta
- Figura 5.3 – Visualização no mapa de todas as instituições retornadas na consulta
- Figura 5.4 – Visualização de parte dos dados da instituição Assistência Social Nossa Senhora da Glória
- Figura 5.5 – Visualização no mapa da instituição Assistência Social Nossa Senhora da Glória
- Figura 5.6 – Modo de relacionamento entre as tabelas descritivas e as espaciais
- Figura 5.7 – Tela inicial da área administrativa
- Figura 5.8 – Área de inclusão e edição de instituições
- Figura 5.9 – Parte do formulário de edição de dados das instituições
- Figura 5.10 – Tabela SPATIAL_REF_SYS
- Figura 5.11 – Tabela GEOMETRY_COLUMNS
- Figura 5.12 – Visualização do bairro Centro
- Figura 5.13 – Visualização da região Centro
- Figura 5.14 – Visualização de parte da rua Mister Moore
- Figura 5.15 – Resultado da Consulta 3
- Figura 5.16 – Exibição do resultado da consulta no mapa

Lista de reduções

AJAX	– <i>Asynchronous Javascript and XML</i>
API	– <i>Application Programming Interface</i>
BLOB	– Campos Longos Binários
BSD	– <i>Berkeley Software Distribution</i>
DBMS	– <i>Database Management System</i>
DER	– Diagrama de Entidade e Relacionamento
ECA	– Estatuto da Criança e do Adolescente
EPSG	– <i>European Petroleum Survey Group</i>
GEOS	– <i>Geometry Engine Open Source</i>
GiST	– <i>Generalized Search Tree</i>
GNU/GLP	– <i>General Public License</i> ou Licença Pública Geral
ID	– Identificador
IDS	– <i>Informix Dynamic Server</i>
ISO	– <i>International Standardization Organization</i> ou Organização Internacional para Padronização
MBR	– <i>Minimum Bounding Rectangle</i> ou Retângulo Mínimo Envolvente
ODBC	– <i>Open Data Base Connectivity</i>
OGC	– <i>Open Geospatial Consortium</i>
OpenGIS	– <i>Open Geodata Interoperability Specification</i>
SFS	– <i>Simple Features Specification</i>
SFSSQL	– <i>Simple Features Specification for SQL</i>
SGBD	– Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SGBDG	– Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados Geográficos
SGBD-OO	– Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados Orientados a Objeto
SGBD-OR	– Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados Objeto Relacional
SGBD-R	– Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados Relacional
SIG	– Sistema de Informação Geográfica ou GIS – <i>Geographic Information System</i>
SQL	– <i>Structured Query Language</i> ou Linguagem de Consulta Estruturada
SRID	– Identificador do Sistema de Referência Espacial
SRS	– <i>Spacial Referencing System</i> ou Sistema de Referência Espacial
TDE	– Tipo de Dado Espacial
UDB	– <i>Universal Database</i>
WKB	– <i>Well Known Binary</i>
WKT	– <i>Well Known Text</i>
XML	– <i>EXtensible Markup Language</i> ou Linguagem extensível de formatação

Resumo

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) estão sendo cada vez mais difundidos em atividades que envolvem dados referenciados ou que implicam efeito sobre determinado espaço. Essa tecnologia possibilita a tomada de decisão e otimização em aplicações que envolvem aspectos relacionados à análise do posicionamento espacial.

A forma de armazenamento dos dados referenciados, também conhecidos como dados espaciais, tornou-se objeto de estudo, já que os Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGDBs), disponíveis até então, não ofereciam suporte adequado a esses dados, dificultando a análise e a manipulação dos mesmos quando associados aos dados descritivos de determinado espaço.

Com o objetivo de padronizar o formato e as operações sobre os dados espaciais, criou-se o *Open Geospatial Consortium* (OGC); os documentos e as especificações produzidas por esse consórcio são conhecidas como *Open Geodata Interoperability Specification* (OpenGIS). Essas iniciativas têm por finalidade permitir a interoperabilidade entre os aplicativos que usam dados espaciais.

Visando minimizar os problemas de armazenamento e manipulação, além de dar maior suporte a dados espaciais, desenvolveram-se as extensões espaciais que têm o objetivo de oferecer artifícios que possibilitam o armazenamento e a manipulação de dados espaciais pelos SGBDs; além disso, as extensões espaciais permitem a integração desses dados com os dados descritivos de forma simples e eficiente. Os dados espaciais constituem uma classe de dados peculiares que necessitam de tratamento especial em um SGBD, já que são armazenados em tipos geométricos primitivos como linha, ponto, polígono. Neste trabalho, serão apresentadas as principais extensões espaciais disponíveis no mercado para os SGDBs e que oferecem suporte aos dados espaciais: *IBM DB2 Spatial Extender*, *Informix Spatial Datblade*, *Oracle Spatial*, *MySQL Spatial Extension* e *PostGIS*.

Este estudo baseou-se nas características das principais extensões espaciais e na análise do estudo de caso proposto. Neste estudo de caso serão abordadas características como: (1) uma visão do contexto dos projetos Observatório e Mapeamento da Rede Sócio-Assistencial à Infância e Juventude de Juiz de Fora e (2) a atual a extensão espacial utilizada (PostGIS). Procurou-se analisar qual das extensões espaciais melhor atende às necessidades desses projetos visando, se necessário, substituir a que está sendo utilizada.

Capítulo 1

Introdução

Este trabalho visa apresentar as principais extensões espaciais disponíveis no mercado, que permitem os SGBDs armazenarem e manipularem de maneira eficiente os dados espaciais. Todas as extensões espaciais descritas nesta pesquisa (IBM DB2 *Spatial Extender*, Informix *Spatial Datablade*, Oracle *Spatial*, MySQL *Spatial Extension* e PostGIS) baseiam-se na especificação OpenGIS (*Simple Features Specification for SQL*, SFSSQL).

Para proporcionar um amplo entendimento desses aplicativos que dão suporte a dados espaciais, este estudo apresenta os conceitos que envolvem as extensões espaciais. De forma simplificada, as extensões espaciais estão inseridas no seguinte contexto (conforme a figura 1.1).

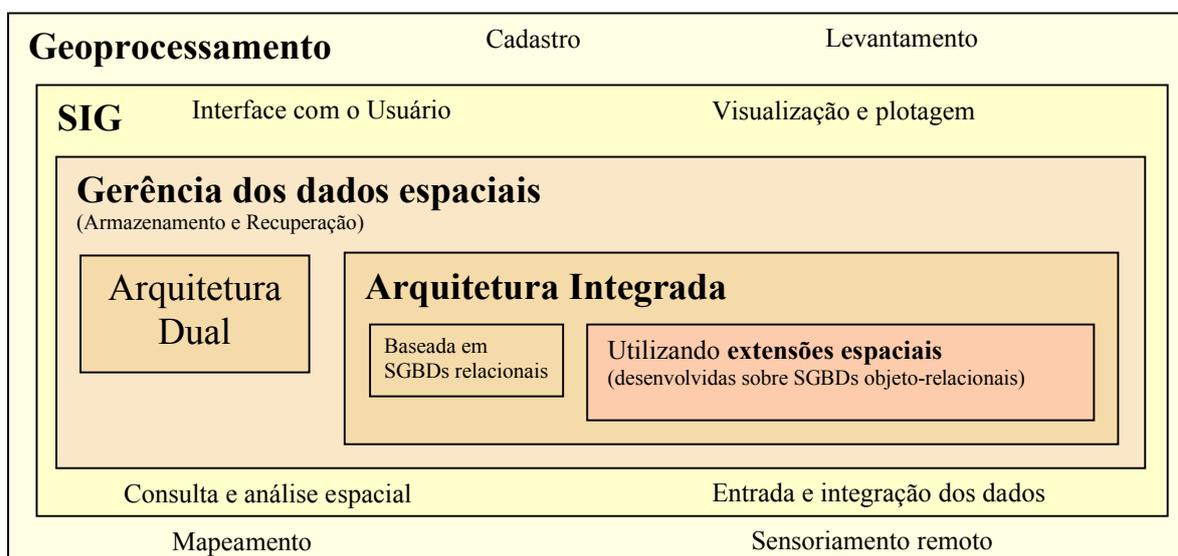


Figura 1.1 – Contexto das extensões espaciais

Como se percebe, através da figura 1.1, demonstrada anteriormente, pode-se dizer que as extensões espaciais são classificadas como sendo um tipo de arquitetura integrada que auxilia o processo de gerenciamento de dados espaciais, que por sua vez é um componente do SIG. Já o SIG engloba a parte computacional do Geoprocessamento.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo apresentar cada aspecto desse contexto que possibilita o entendimento das características das extensões espaciais, bem como descrever os principais características de cada extensão espacial, para, desse modo, analisar qual extensão atende às necessidades dos Projetos Observatório e Mapeamento da Rede Sócio-Assistencial à Infância e Juventude de Juiz de Fora. Atualmente, nesses projetos são utilizados o PostgreSQL, como SGBD, e PostGIS, como extensão espacial.

1.1 Motivação

A extensão espacial é uma ferramenta muito atraente para a realização das análises baseadas no planejamento urbano e social que são abordados pelos Projetos Observatório e Mapeamento da Rede Sócio-Assistencial à Infância e Juventude de Juiz de Fora. Desse modo, o estudo aprofundado dessa tecnologia faz-se necessário para proporcionar um ambiente eficiente que atenda às necessidades desses projetos; sendo assim, pretende-se analisar se a extensão espacial utilizada atualmente (PostGIS) é a que melhor atende as necessidades dos projetos em questão. Além disso, este trabalho propõe fornecer uma base teórica de contextualização das principais extensões espaciais disponíveis no mercado, além de descrever as particularidades de cada extensão que dá suporte aos dados espaciais.

1.2 Organização

Para realizar o estudo de caso da aplicação das extensões, o presente trabalho foi organizado em 5 capítulos, além deste capítulo introdutório. No capítulo 2, são abordados aspectos do contexto das extensões espaciais, além da descrição de conceitos importantes, como o conceito de dados espaciais, por exemplo. No capítulo 3, apresentam-se o OCG e a especificação OpenGIS, bem como os aspectos nos quais as extensões espaciais se baseiam para garantir a compatibilidade de formatos e operadores dos dados espaciais. Já no capítulo 4, descrevem-se as características das extensões espaciais. No capítulo 5, apresenta-se um estudo de caso dos Projetos Observatório e Mapeamento da Rede Sócio-Assistencial à Infância e Juventude de Juiz de Fora, utilizando-se a extensão PostGIS. Por fim, no capítulo 6, analisam-se os pontos conclusivos bem como lançam-se propostas para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Sistemas de Informação Geográfica

Com o surgimento das ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica – SIG ou GIS (*Geographic Information System*), revolucionou-se a maneira de trabalhar com os dados espaciais, uma vez que se tornou possível a análise integrada dos dados descritivos e espaciais e, conseqüentemente, a implantação de novos sistemas de apoio à tomada de decisão. Antes do surgimento dessas ferramentas, os dados espaciais eram armazenados de forma isolada dos dados descritivos, prejudicando assim o processo de tomada de decisão.

A análise conjunta desses dados levou à necessidade de desenvolver uma forma de armazenamento de dados que oferecesse suporte para esse processo. Dessa forma, iniciaram-se os estudos para adaptar os SGBDs existentes para que os mesmos oferecessem suporte aos novos tipos de dados. Como os resultados dessa adaptação não foram satisfatórios, nenhum SGBD conseguiu manter todas as características espaciais dos objetos armazenados. Surgiu, então, a proposta de se criarem SGBDs próprios para os dados espaciais, Sistema Gerenciador de Banco de Dados Geográficos (SGBDGs), o que proporcionou o armazenamento dos objetos em sua forma primitiva, ou seja, os objetos são armazenados sem perder suas características originais. Na verdade, esses SGBDGs são extensões (*plugins*) aos SGBDs existentes. Sendo assim, as extensões espaciais constituem resultado de otimizações que visam oferecer mais recursos para proporcionar maior suporte aos dados espaciais, dentre os quais destacam-se: métodos de armazenamento e acesso (indexação espacial) e métodos de otimização de consultas.

2.1 Geoprocessamento

A utilização de dados que são referenciados espacialmente implica efeitos sobre determinado espaço, e isso sempre foi um aspecto importante para a análise das atividades das sociedades organizadas. Até recentemente, no entanto, isso era feito apenas em documentos e mapas em papel, de forma que dificultava uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Com os avanços na área da tecnologia da informação, a partir de 1960, tornou-se possível representar e armazenar os dados geo-referenciados, ou seja, realizar o Geoprocessamento – que consiste em organizar dados de maneira que facilite a análise de seus inter-relacionamentos.

A finalidade do Geoprocessamento é gerar novos dados e representá-los no espaço geográfico, englobando toda ciência ou tecnologia relacionada a cadastro, levantamento,

mapeamento, sensoriamento remoto e SIG. Utilizando técnicas matemáticas e computacionais, o Geoprocessamento permite a correlação e análise de dados espaciais (também denominados de dados geográficos) e dados convencionais (ou alfanuméricos), facilitando a tomada de decisão em diversas áreas, tais como Planejamento Urbano e Regional, Cartografia, Gestão de Recursos Naturais, Transporte, Comunicações, Gestão nas Áreas de Saúde e Educação.

Geoprocessamento¹ é definido como “o campo de atividades que, utilizando uma abordagem sistêmica, integra todos os meios empregados na aquisição e gerenciamento de dados espaciais usados em aplicações científicas, administrativas, legais e técnicas, envolvidas no processo de produção e gerenciamento de informação espacial”. (GEOMATICA, 1995 *apud* LISBOA FILHO, 2001)

As ferramentas computacionais mais conhecidas e utilizadas para Geoprocessamento são denominadas SIG. Elas manipulam dados convencionais e dados espaciais de forma integrada, proporcionando a realização de análises e consultas complexas. Através do SIG, é possível ter acesso às informações descritivas de um fenômeno geográfico a partir de sua localização e vice-versa, possibilitando ainda a automatização da produção de documentos cartográficos.

2.2 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO (2001) arrola vários conceitos de estudiosos a respeito do SIG, as quais refletem a multiplicidade de usos e visões possíveis dessa tecnologia: “Um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados geo-referenciados” (ARONOFF, 1989); “Conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real” (BURROUGH, 1986); “Um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas” (COWEN, 1988); “Um banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder a consultas sobre entidades espaciais” (SMITH *et al.*, 1987).

Na visão de WORBOYS *apud* LISBOA FILHO (2001), “Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são sistemas de informação que tornam possível a captura, modelagem, manipulação, recuperação, análise e apresentação de dados referenciados geograficamente (ou dados geo-referenciados)”.

¹ Conhecido em alguns países, inclusive no Canadá, como *Geomatics*

De maneira geral, pode-se dizer que SIG é um sistema computacional que compreende as ferramentas computacionais do processo de Geoprocessamento desde o gerenciamento de dados até a visualização, ou seja, é uma ferramenta que possui importante papel no universo das aplicações de Geoprocessamento, realizando o armazenamento, a manipulação, análise, recuperação e apresentação dos dados (espaciais e convencionais). No entanto, como afirma LISBOA FILHO (2001), “no Brasil, freqüentemente, o termo sistema de Geoprocessamento têm (sic) sido utilizado, pela comunidade de usuários, como sendo sinônimo de sistema de informação geográfica”. Porém, vale ressaltar que o Sistema de Geoprocessamento engloba outros sistemas computacionais que são capazes de processar dados geo-referenciados, dentre os quais podemos citar: Sistemas de Cartografia Automatizada (CAC), Sistemas de Processamento de Imagens, Sistemas de Gerenciamento de Redes de Infra-Estrutura, Sistemas de Apoio a Projeto (CAD).

Como há dúvidas conceituais quanto aos termos Geoprocessamento e SIG, pode-se dizer, de maneira geral, que o termo Geoprocessamento está relacionado com o processamento de dados geo-referenciados, desde a sua aquisição até a geração e saída sob a forma de mapas convencionais, relatórios, arquivos, entre outros, devendo prover recurso para a armazenagem, gerenciamento, manipulação e recuperação. Já o SIG engloba o conceito de sistema computacional, que permite a associação de dados gráficos (mapas) e os SGBDs, que servem de base à gestão espacial e, conseqüentemente, a soluções e problemas de determinada área da superfície terrestre; além disso, os SGBDs servem como um ambiente que permite a integração e a interação de dados geo-referenciados com o objetivo de produzir análises espaciais como suporte à decisão técnica ou política. Desse modo, enquanto o Geoprocessamento representa um conceito mais abrangente e representa qualquer tipo de processamento de dados geo-referenciados, um SIG processa dados espaciais e convencionais com ênfase a análises espaciais e modelagens de superfícies.

Um SIG é formado pelos seguintes componentes: interface com o usuário, entrada e integração de dados, funções de consulta e análise espacial, visualização e plotagem, bem como armazenamento e recuperação de dados organizados sob a forma de um banco de dados geográficos. A figura 2.1 apresenta os relacionamentos entre os principais componentes de um SIG.

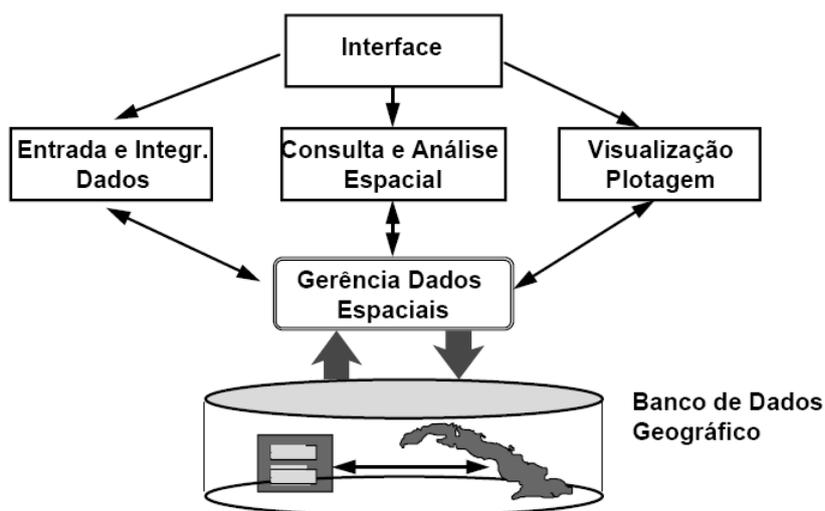


Figura 2.1 - Arquitetura de um SIG (CÂMARA *et al.*, 1996)

De acordo com ROCHA (2001), “esses componentes se relacionam de forma hierárquica. No primeiro nível, se estabelece como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais. E no nível mais interno do sistema, encontra-se um Sistema Gerenciador de Banco de Dados Geográficos (SGBDG) que oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais”.

Segundo ANTENUCCI (1991) *apud* LISBOA FILHO (2001), os SIGs consistem na integração de três aspectos distintos da tecnologia computacional: sistemas de gerenciamento de banco de dados geográficos (BDGeo); procedimentos para obtenção, manipulação, exibição e impressão de dados com representação gráfica (Interface); e algoritmos e técnicas para análise de dados espaciais (Ferramentas), conforme ilustrado na figura 2.2.

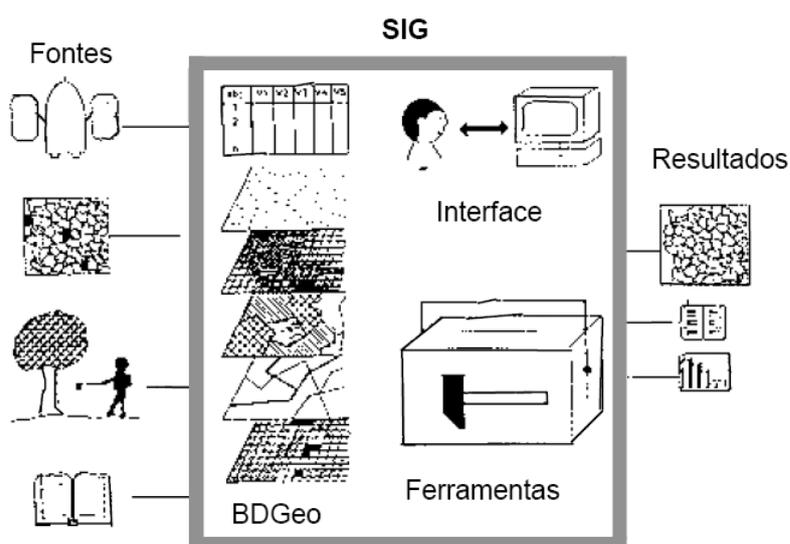


Figura 2.2 - Aspectos tecnológicos de SIG (LISBOA FILHO, 2001)

A figura 2.3 ilustra de maneira simplificada e esquematizada o conceito de SIG, onde o mundo real é simplificado sendo representado por dados geo-referenciados oriundos das geotecnologias² e das informações descritivas coletadas. Esses dados são manipulados, armazenados de acordo com as necessidades do usuário, permitindo o desenvolvimento das análises espaciais.

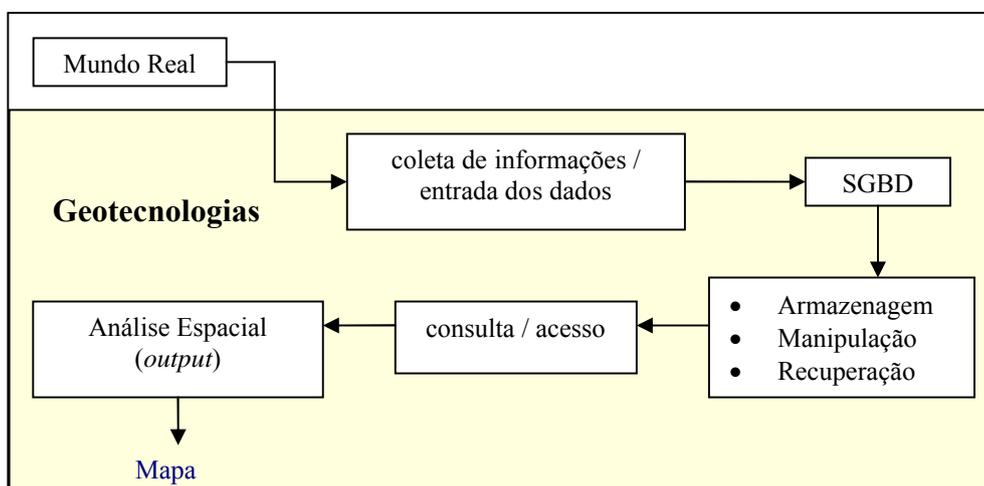


Figura 2.3 – Contexto de um SIG

De acordo com CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO (2001), entre as principais características de SIGs, podem-se destacar:

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

2.3 Evolução do SIG

Os primeiros SIGs surgiram na década de 60, no Canadá, com objetivo de atender às demandas militares, governamentais e educacionais, no entanto seu auge se deu nas décadas de 80 e 90, com a popularização e o barateamento das estações gráficas de

² Esse conceito abrange a aquisição, processamento, interpretação (ou análise) de dados ou informações espacialmente referenciadas. O termo Geotecnologia refere-se a um grupo de tecnologias de informação geograficamente referenciada, onde podemos destacar o GPS, SIG, fotogrametria, levantamentos aéreos ou orbitais, topologia, cartografia, geodésia e outros.

trabalho, e com o surgimento e evolução dos computadores pessoais e dos Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados Relacionais (SGBD-R).

A incorporação de muitas funções de análise espacial proporcionou também o alargamento das opções de aplicação de SIG. Na década atual, observa-se uma significativa penetração do SIG nas organizações, sempre alavancado pelos custos decrescentes do hardware e do software, e também pelo surgimento de alternativas menos onerosas para a construção de bases de dados geográficas.

2.4 Dados convencionais *versus* dados espaciais

Os SIGs visam manipular os dados convencionais e os dados espaciais de forma integrada, proporcionando a realização de análises e consultas complexas, necessárias nas aplicações de Geoprocessamento.

Os dados convencionais correspondem aos atributos alfanuméricos usados para armazenar os dados descritivos e temporais. Os dados espaciais, que correspondem a atributos descritivos da geometria, da localização geográfica e dos relacionamentos espaciais, podem ser categorizados segundo a sua forma de armazenamento: vetor ou matriz.

Desse modo, classificam-se como dados vetoriais aqueles utilizados para representar o espaço como um conjunto de entidades discretas (geo-objetos ou objetos geográficos), as quais são definidas por seus atributos descritivos e por uma unidade (ponto, linha ou polígono) geograficamente referenciada.

Já os dados matriciais, também denominados *raster*, são utilizados para representar o espaço geográfico como uma superfície contínua (geo-campo), sobre a qual variam os fenômenos a serem observados segundo diferentes distribuições. Esse espaço é então representado por uma matriz **P(m,n)**, formada por **m** linhas e **n** colunas, onde cada célula possui a sua localização – um par de coordenadas que especifica seu endereço – e um valor correspondente ao atributo estudado.

Os dados espaciais, devido às suas peculiaridades apresentadas anteriormente, constituem importantes fontes de estudo de renomados pesquisadores, como SILVA e CÂMARA. Para SILVA (2007), “os dados espaciais são caracterizados pela localização geográfica sobre a superfície terrestre em certo instante, são modelados para representar uma área ou polígono, linha, ponto ou algum objeto complexo, como por exemplo, uma rede de esgoto ou malha rodoviária, sendo que este tipo de dado é armazenado através de um sistema de coordenadas”. Não distante dessa descrição, temos CÂMARA *et al.* (1996),

para quem os “dados espaciais ou geo-referenciados denotam dados que descrevem fatos, objetos e fenômenos do globo terrestre associados à sua localização sobre a superfície terrestre, num certo instante ou período de tempo”.

Alguns autores, entre os quais podemos destacar LISBOA FILHO (2001), consideram ainda que um SIG pode possuir dados pictóricos, ou seja, atributos que armazenam imagens sobre regiões geográficas (fotografias de uma região, imagem de satélite).

2.5 SGBDs Convencionais *versus* SGBDs Espaciais

A organização de um Banco de Dados é feita de maneira a prover um mecanismo eficiente de armazenamento e manipulação de dados, cujo gerenciamento é controlado pelo Sistema Gerenciador de Banco de Dados.

Os SGBDs estão evoluindo de maneira a atender às particularidades das aplicações atuais. Sendo que a maior parte dos estudos e pesquisas está voltada para aplicações não convencionais, por exemplo, aplicações SIG.

“Os SIGs são capazes de gerenciar dados geográficos, ou seja, dados que descrevem entes do mundo real em termos de sua posição (em relação a um sistema de referência espacial), geometria, relacionamentos espaciais (relações topológicas) e atributos.” (BURROUGH, 1986 *apud* PINHEIRO, 2006) .

Os SIGs precisam armazenar grande quantidade de dados e torná-los disponíveis para operações de consulta e análise. Nesse contexto, os SGBDs são ferramentas fundamentais para os SIG. Um SGBD é um conjunto de softwares que gerencia a estrutura do banco de dados e controla o acesso aos dados armazenados no mesmo. O objetivo básico do SGBD é proporcionar um ambiente eficaz e conveniente para armazenamento e recuperação da informação.

Entre os vários recursos de um SGBD, pode-se destacar o aumento do desempenho de armazenamento e recuperação dos dados; além desses recursos primordiais, pode-se ainda citar: a padronização de acesso aos dados; separação entre os dados armazenados e as funções de manipulação e recuperação dos mesmos; interface entre o banco de dados e os programas de aplicação, tornando invisíveis os detalhes de armazenamento na estrutura física; manutenção da consistência dos dados no banco através do conceito de transação; gerenciamento e controle de concorrência, evitando a perda de informações; mecanismos de recuperação de falhas; mecanismos de definição de restrições de integridade.

O mercado para SGBDs concentra-se em duas tecnologias: SGBDs Relacionais (SGBD-R) e SGBDs Objeto-Relacionais (SGBD-OR), com uma pequena fatia para SGBDs Orientados a Objeto (SGBD-OO).

Os SGBD-R seguem o modelo relacional de dados, em que um banco de dados é organizado como uma coleção de relações, cada qual com atributos de um tipo específico. Nos sistemas comerciais atuais, os tipos incluem números inteiros, de ponto flutuante, cadeias de caracteres, datas e campos binários longos (BLOBs). Para esses tipos encontra-se disponível uma variedade de operações (exceto para o tipo BLOB), como operações aritméticas, de conversão, de manipulação textual e operações com dados.

O SGBD-R foi desenvolvido visando atender às aplicações que manipulam grandes volumes de dados convencionais. Sendo assim, tais sistemas não oferecem recursos para atender às necessidades de aplicações não-convencionais. “A mera simulação de tipos de dados não convencionais em um SGBD-R pode ter efeitos colaterais, como queda de desempenho, dificuldade de codificação e posterior manutenção da aplicação”, citado por STONEBRAKER (1996) *apud* PINHEIRO (2006).

Com a necessidade de manipular dados complexos, tais como os dados geo-referenciados, os SGBDs tiveram que se adaptar às novas necessidades exigidas para a armazenamento e manipulação dos mesmos. Em se tratando dos dados geo-referenciados, houve a necessidade de armazenar e manipular dados associados a uma localização na superfície terrestre. Devido à variedade de informações que são representadas, dados geo-referenciados tendem a ser mais complexos: “Geralmente esta complexidade se deve ao formato digital imposto pelo próprio software que não manipula certas funções geométricas”, como afirma BORGORNY (1999). Visando minimizar os problemas ocorridos na simulação de tipos de dados complexos pelos SGBD-R e, dessa forma, atender às necessidades de aplicações não convencionais, desenvolveram-se os SGBD-OR e, posteriormente, os SGBD-OO.

Entre outras características, os SGBD-OR estendem o modelo relacional, incorporando novos tipos de dados, inclusive objetos complexos, oferecendo operadores que podem ser utilizados na linguagem de consulta. Possibilitam ainda a extensão dos mecanismos de indexação sobre os novos tipos, tal como a requerida pelos SIGs. De maneira geral, SGBD-OR foi desenvolvido, basicamente, visando atender à necessidade de criação de novos tipos de dados, até então não abordados no SGBD-R.

“A idéia básica de servidores universais é a busca de uma solução única para problemas de gerenciamento de banco de dados, estendendo o modelo relacional para

objeto-relacional. A intenção é permitir que os desenvolvedores continuem em seu já familiar ambiente de desenvolvimento, baseado em estruturas e com linguagens de definição (DDL) e manipulação (DML) de dados bem definidas, porém sendo capazes de explorar as potencialidades das tecnologias orientadas a objeto.” (FILGUEIRAS, 2000 *apud* SILVA, 2002).

Segundo REEVE (2001) *apud* SILVA (2002), o SGBD-OO tem como foco fundamental arquivar um alto nível de abstração, ou seja, o modo como as entidades e eventos são representados no banco de dados está mais próximo de como as coisas são e de como as pessoas pensam sobre elas no mundo real.

Segundo FILGUEIRAS (2000), os SGBD-OO apresentam um problema de escalabilidade, pois “quando são submetidos a condições em que grupos de usuários vão além da ordem de dezenas, ou em que dados ultrapassam a ordem de 10GB, as vantagens no tratamento dos dados complexos tendem a desaparecer. Os anos de investimento em pesquisas pelos vendedores de SGBD Relacionais também os têm deixado à frente no tocante à segurança, integridade e disponibilidade”. De acordo com ARAÚJO JR. (2000) *apud* SILVA (2002), a abordagem puramente orientada a objetos traz problemas de controle de concorrência e transações.

2.6 Arquitetura de um SIG

Os dados que um SIG manipula representam objetos e fenômenos, cuja localização geográfica é uma das principais características utilizadas em sua análise. Esses dados possuem dois componentes principais:

- **Modelo de Dados Convencionais**

O modelo (ou tipo) de dados convencionais, também conhecido como modelo (ou tipo) de dados alfanuméricos, engloba o conjunto dos números e/ou letras. São utilizados para armazenar atributos descritivos e temporais do objeto espacial – armazena atributos como nome da rua, número, nome da instituição, quantidade de atendimento mensal entre outros. Normalmente são representados no SGBDs através dos tipos: **Varchar** (cadeia de caracteres), **Integer** (número inteiro), **Real** (número decimal), **Char** (caracter), **Boolean** (valores lógicos), **Time** (tempo), **Date** (data), entre outros.

- **Modelo de Dados Espaciais**

O modelo (ou tipo) de dados espaciais engloba o conjunto de características que descreve a localização do fenômeno geográfico ligado a uma posição sobre ou sob a superfície da terra. Os dados espaciais são modelados para representar uma área ou polígono, linha,

ponto ou algum objeto complexo, como por exemplo, as ruas de uma cidade. Esse tipo de dado é armazenado através de um sistema de coordenadas.

De acordo com BORGES e FONSECA (1996), um Modelo de Dados Geográfico deve ser capaz de:

- a) Representar os diferentes tipos de dados: espaciais (ponto, linha, polígono), imagens (mapas, modelo digital de terreno) e dados alfanuméricos;
- b) Suportar relacionamentos espaciais;
- c) Ser independente da implementação;
- d) Representar a forma gráfica dos objetos, de forma a distinguir no modelo os objetos que são espaciais e os que são alfanuméricos.

O Modelo de Dados deve prever e possibilitar a manipulação de dados oriundos de fontes diversas: mapas, imagens de satélites e dados cadastrais. As características particulares dos dados geográficos constituem a razão pela qual se faz necessário estruturar novos tipos de dados e arquitetar novas formas de armazenamento e acesso aos mesmos (SILVA, 2002).

Os dados espaciais são formados pela combinação de um par ordenado, ou conjunto de pares ordenados, que tem por finalidade representar a localização espacial de um objeto no mundo real. Esse objeto pode variar de acordo com o domínio abordado, podendo representar, desde uma instituição localizada na rua de uma determinada cidade (ponto), até mesmo a própria cidade dentro de um mapa cartográfico do Estado no qual ela se situa (polígono).

Para diferenciar os domínios a que os dados espaciais se referem, é necessário que estes estejam vinculados a metadados. Sendo assim, houve a necessidade de se integrar a utilização de dados espaciais a bancos de dados que possuam as informações descritivas sobre os mesmos.

A seguir serão apresentadas as arquiteturas utilizadas pelos SIGs, no que diz respeito à sua integração com os SGBDs, ou seja, a forma como são gerenciados os dados em um SIG. De maneira geral, pode-se dizer que essas arquiteturas diferem principalmente na maneira e nos recursos utilizados para armazenar e recuperar dados espaciais.

2.6.1 Gerência de dados em um SIG (Arquiteturas Dual e Integrada)

A forma de armazenamento e gerenciamento dos dados convencionais e espaciais é um aspecto importante para os SIG, uma vez que se devem compartilhar e gerenciar dados de forma eficiente.

Há basicamente três arquiteturas de gerenciamento de dados baseadas em SGBD: dual, integrada baseada em um SGBD-R e integrada utilizando extensões espaciais desenvolvidas sobre SGBD-OR.

2.6.1.1 Arquitetura Dual

Arquitetura Dual baseia-se na distinção entre atributos convencionais e espaciais dos objetos espaciais, ou seja, o dado espacial é armazenado separadamente, conforme a figura 2.4. Dessa forma, os atributos convencionais são armazenados em tabelas em um banco de dados, gerenciado por um SGBD. Já os atributos espaciais são armazenados em arquivos do sistema operacional hospedeiro, em um formato proprietário do SIG. A associação lógica entre o dado espacial e seus atributos convencionais é realizada através do compartilhamento de um identificador único (chave primária) atribuído simultaneamente para ambos. Dentre os sistemas comerciais baseados na estratégia dual destacam-se: ARCVIEW, MGE E SPRING.

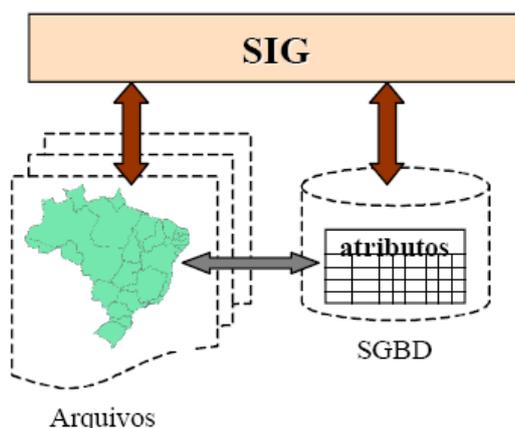


Figura 2.4 – Arquitetura Dual (CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO, 2001)

Essa arquitetura é simples e possibilita a utilização de SGBDs relacionais disponível no mercado, entretanto dificulta aspectos como: otimização de consultas, gerência de transações, controle de integridade e concorrência. As representações geométricas dos objetos espaciais não estão sob o controle do SGBD, dessa forma, para controlar, manipular os dados espaciais, além de manter a qualidade e eficiência do processo de consulta e de análise dos mesmos, devem-se implementar os aspectos citados anteriormente.

2.6.1.2 Arquitetura Integrada

Com o objetivo resolver as limitações apresentadas anteriormente (seção 2.6.1.1) e assim manter a integridade entre os atributos espaciais e convencionais, desenvolveu-se uma arquitetura que armazena todos os tipos de dados geográficos, com seus atributos espaciais

e alfanuméricos, em um SGBD, normalmente, baseando-se na tecnologia objeto relacional, como mostra a figura 2.5. De acordo com CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO (2001), a tecnologia de SIG, baseada no uso do SGBD, é chamada na literatura de “arquitetura integrada”. Essa arquitetura é a mais comum e a mais indicada para aplicações SIG. A arquitetura integrada divide-se em: integrada baseada em um SGBD relacional; e integrada utilizando extensões espaciais desenvolvidas sobre SGBDs objeto relacionais.

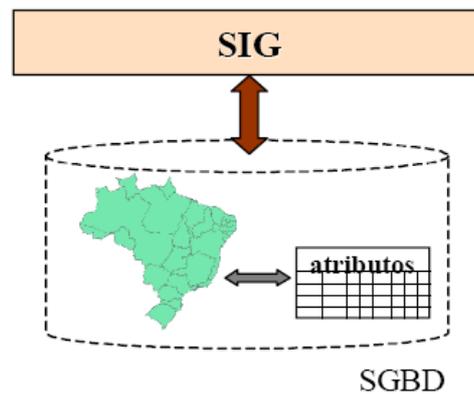


Figura 2.5 – Arquitetura Integrada (CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO, 2001)

A arquitetura integrada baseada em um SGBD relacional armazena os dados espaciais em colunas do tipo BLOB nas mesmas tabelas do banco de dados onde estão armazenados os atributos alfanuméricos.

Apesar de minimizar, ou até mesmo eliminar as desvantagens da arquitetura dual, a arquitetura integrada baseada em um SGBD relacional ainda apresenta algumas restrições que produzem desvantagens à gerência de dados em um SIG, tais como as apresentadas por CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO (2001):

- não é capaz de capturar a semântica dos dados espaciais; como o SGBD trata o campo longo como uma cadeia binária, não é possível conhecer a semântica do seu conteúdo;
- métodos de acesso espacial e otimizador de consultas devem ser implementados pelo SIG; já que o SGBD trata os dados espaciais como uma cadeia binária, não apresenta mecanismos satisfatórios para o seu tratamento;
- limitações da linguagem SQL para a manipulação dos dados espaciais; a SQL padrão oferece recursos limitados para o tratamento de campos longos.

A arquitetura integrada via extensão espacial visa atender à evolução e à necessidade dos SIGs; os SGBDs objeto relacionais estão sendo estendidos para tratar de tipos de dados espaciais, conhecidos como SGBDG ou extensões espaciais. Essa abordagem proporciona a incorporação pelos SGBDs relacionais de recursos para a

definição, armazenamento e manipulação de dados complexos através do paradigma da orientação a objetos. Por isso um SGBD objeto relacional, também conhecido como SGBD extensível, é mais adequado para manipular dados complexos – tais como os dados georeferenciados – do que um SGBD relacional, o qual não oferece esses recursos ou os executa de maneira ineficiente.

Com a capacidade de incorporar novos tipos de dados e de estender a linguagem de dados SQL com funções e operadores para manipulá-los, surgiram as extensões espaciais. “Essas extensões fornecem funções e procedimentos que permitem armazenar, acessar e analisar dados geográficos de formato vetorial”.(CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO, 2001).

Ainda segundo CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO (2001), “Como desvantagens dessa arquitetura podem ser citadas as faltas de mecanismos de controle de integridade sobre os dados espaciais e a falta de padronização das extensões da linguagem SQL”.

As principais características de um SGBD-OR de extensão espacial são: fornecer tipos de dados espaciais (TDEs), tais como ponto, linha e polígono, em seu modelo de dados e manipulá-los assim como os tipos alfanuméricos básicos (inteiros, *String*, etc); estender a linguagem de consulta SQL para suportar operações e consultas espaciais sobre TDEs; adaptar outras funções de níveis mais internos para manipular TDEs eficientemente, tais como métodos de armazenamento e acesso (indexação espacial) e métodos de otimização de consultas (junção espacial). Nas palavras de CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO (2001), em um banco de dados estendido também pode-se observar:

- i) Atributo topológico: a adjacência ou inclusão de informações como relação com o clima, por exemplo;
- ii) Atributo não-espacial: também chamado de atributo alfanumérico, que são conjuntos de atributos usados para descrever o dado geográfico de estudo: nome e população de um país, pico de corrente de uma descarga atmosférica;
- iii) Atributo geográfico: trata da posição (latitude/longitude), área, perímetro, polígono de fronteiras, como por exemplo, localização de estações meteorológicas e localização das descargas atmosféricas.

Portanto, além dos TDEs, as extensões espaciais fornecem operadores e funções que são utilizados, juntamente com a linguagem de consulta do SGBD, para consultar relações espaciais e executar operações sobre TDEs. Além disso, fornecem métodos de acesso eficiente de TDEs através de estruturas de indexação, como *R-tree* e *Quad-tree*.

Atualmente, essas extensões ainda são muito limitadas em manipular somente dados espaciais de representação vetorial, não oferecendo suporte a dados matriciais. Desse modo, um SGBD-OR com extensão espacial não dispõe de tipos de dados específicos para armazenamento de dados matriciais nem recursos para executar operações sobre os mesmos. Normalmente, os dados matriciais são armazenados em BLOBs como um conjunto de valores binários.

Entre as extensões espaciais disponíveis no mercado, podemos destacar: Oracle *Spatial*, IBM DB2 *Spatial Extender*, Informix *Spatial Datablade*, MySQL e PostGIS para o SGBD PostgreSQL.

2.6.2 Métodos de acesso para dados espaciais

O projeto físico de um banco de dados é essencial para otimizar as instruções para que os dispositivos de armazenamento executem as operações nos seus arquivos. A organização física desses arquivos muitas vezes pode ser complementada com a utilização de índices, que são estruturas desenvolvidas com a finalidade de otimizar o acesso aos bancos de dados. Normalmente uma consulta espacial envolve apenas uma pequena parcela do banco de dados, e estes dados geralmente ficam armazenados em memória secundária; nesse caso, percorrer todo o banco pode ser bastante ineficiente. Dessa forma, o mecanismo de indexação visa organizar os dados em uma árvore de busca que possa rapidamente ser percorrida para encontrar um registro particular.

No caso dos bancos de dados convencionais, os índices aceleram o processamento das consultas, utilizando estruturas de dados dinâmicas, tais como: **Tabelas Hash** e **B-trees** (Árvores Balanceadas), tendo como chave um ou vários campos e tratam de dados unidimensionais. Já no caso de banco de dados espacial, os índices utilizados nas estruturas de dados citadas anteriormente não se aplicam devido à natureza multidimensional dos dados espaciais. Os índices espaciais levam em consideração a localização dos objetos no espaço, além disso, processam consultas espaciais eficientemente, através da redução do conjunto de dados a ser verificado no processamento.

Os índices espaciais fundamentam-se no uso de aproximações, ou seja, a estrutura do índice trabalha com representações mais simples dos objetos. Sendo assim, normalmente as consultas são divididas em duas etapas: filtragem e refinamento, conforme ilustrado na figura 2.6. Na etapa de **filtragem** são usados métodos de acesso espaciais que visam reduzir e rapidamente selecionar os possíveis candidatos que participam da consulta. A redução do espaço de busca é muito importante, pois a etapa seguinte, a de **refinamento**,

envolve a aplicação de algoritmos geométricos computacionalmente complexos e custosos e que são aplicados à geometria exata dos candidatos selecionados na etapa anterior.

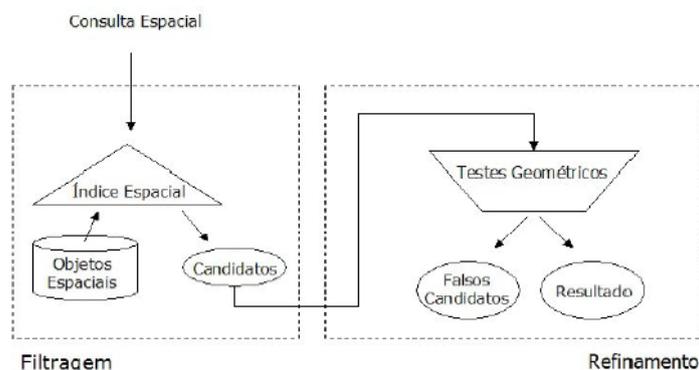


Figura 2.6 – Processamento de consultas espaciais
(CÂMARA *et al.*, 2005 *apud* GAEDE e GÜNTHER, 1998)

São exemplos de mecanismos de indexação *R-tree*, *Quad-tree* e *GiST*. Vale ressaltar que algumas extensões espaciais trabalham com mais de um mecanismo de indexação – cada índice é apropriado para diferentes situações, e esses índices podem ser usados simultaneamente para indexar uma mesma coluna geométrica.

Os índices *B-tree*'s são usados para os dados que podem ser classificados em uma certa ordem. Por exemplo, números, letras, datas; já os dados de um SIG não podem ser classificados em ordem, assim o índice *B-tree* não tem utilidade em dados espaciais.

O método de indexação *R-tree* é uma extensão da *B-tree* para o espaço multidimensional, onde os objetos são representados através do menor retângulo que os limitam, ou seja, os objetos são representados por uma aproximação da geometria do objeto espacial, *Minimum Bounding Rectangle* (MBR), também conhecido como Mínimo Retângulo Envolvente (MRE) à geometria do objeto. Essa árvore e suas variantes são projetadas para organizar uma coleção de objetos espaciais arbitrários, representando-os como retângulos d-dimensionais. Cada nó na árvore corresponde ao retângulo de menor dimensão d e inclui seus filhos. Os nós finais contêm ponteiros para os atuais objetos no banco de dados ao invés de apontar para nós filhos. A desvantagem desse método é que ele não resulta em uma decomposição desmembrada do espaço. Sendo assim, um objeto é somente associado a um retângulo e, na pior hipótese, significa que, quando se deseja determinar qual objeto é associado com um ponto particular no espaço bi-dimensional onde os objetos são representados, pode-se ter que buscá-lo em todo o banco de dados.

A *Quad-tree* subdivide o espaço em quadrantes, que são apropriadas para dados arbitrariamente distribuídos e ideais para tarefas que requerem a composição de diferentes operações e conjunto de dados. A árvore é formada por nós, que possuem quatro

descendentes e representam os quatro quadrantes nos quais o nó original foi subdividido. Os quadrantes são divididos até que não possam ser mais subdivididos, e então são armazenados em nós folha. Esse método pode ser aplicado a dados no formato matricial, pontos e objetos mis complexos tais como polígonos. Em geral, desde que os dados espaciais não sejam normal e uniformemente distribuídos, a abordagem de decomposição regular *Quad-tree* é mais flexível. A desvantagem de métodos de *Quad-tree* é a sensibilidade para o posicionamento, de forma que a localização dos objetos, relativa às linhas de decomposição do espaço no qual eles estão referenciados, afeta o custo do armazenamento e a quantidade de decomposição.

O método de indexação espacial denominado *Generalized Search Tree* (GiST) é uma forma generalizada de uma indexação *R-tree*. O GiST provê uma possibilidade de criar tipo de dados personalizados com métodos de acesso indexados à linguagem de busca extensível para domínio específico de consultas. Formalmente, GiST é definido como uma estrutura de árvore balanceada com nodos contendo (**p**, **ptr**) pares, onde **p** é um predicado (atributo), que é usado como uma chave de busca, e **ptr** é o ponteiro para o dado em um nó folha ou um ponteiro para outro nó da árvore, para um nó não-folha. Além da indexação de dados de um SIG, o GiST é usado nas buscas em todos os tipos de estruturas de dados irregulares (*arrays* de inteiros, etc.), que não são indexados por *B-tree*.

O mecanismo de indexação *Grid-File* divide o espaço em grades retangulares, onde cada célula é associada a uma página. Uma geometria **G** é associada às páginas das células C_i da grade que interceptam como retângulo envolvente da geometria. Nesse tipo de índice, cria-se uma matriz bi-dimensional, conhecida como diretório, onde os elementos possuem o endereço de uma página. Às vezes, o retângulo envolvente de uma certa geometria pode sobrepor mais de uma célula. Caso isso aconteça com muita frequência, pode haver uma perda de eficiência do índice. Esse aspecto torna a definição da resolução da grade muito importante no projeto desse tipo de índice, entretanto, pode-se optar por realizar vários níveis de grade.

2.6.3 Otimização de consulta

Com a crescente utilização de SIGs na década de 90, foi necessário estender a SQL-89, já que essa não acomodava consultas espaciais. Segundo FRANK e MARK (1991), as extensões da SQL devem considerar dois pontos básicos:

- a semântica dos operadores deve ser formalmente definida;

- deve-se projetar uma linguagem separada para lidar com a parte de apresentação de geometrias.

Segundo CÂMARA *et al.* (2005), a eficiência das estratégias de otimização de consultas espaciais depende fundamentalmente da complexidade e frequência das consultas. Dentre os tipos de consultas, pode-se destacar:

- Seleção espacial: dado um conjunto de objetos espaciais D e um predicado de seleção espacial ρ sobre atributos espaciais dos objetos em D , determinam-se todos os objetos em D cujas geometrias satisfazem ρ .
- Junção espacial: dados dois conjuntos de dados espaciais, D e D' , e um predicado de seleção espacial θ , determinam-se todos os pares (d, d') e $D \times D'$ cujas geometrias satisfazem θ .

Ainda temos os casos particulares de seleção espacial:

- Seleção por ponto: dado um ponto P e um conjunto de objetos espaciais D , determinam-se todos os objetos em D cujas geometrias contêm P .
- Seleção por região: dada uma região R e um conjunto de objetos espaciais D , determinam-se todos os objetos em D cujas geometrias estão contidas em R .
- Seleção por janela: dado um retângulo R com os lados paralelos aos eixos e um conjunto de objetos espaciais D , determinam-se todos os objetos em D cujas geometrias estão contidos em R .

Um predicado de seleção espacial é uma expressão booleana $B(x)$ com uma variável livre, x , varrendo geometrias, de forma que $B(x)$ envolve apenas operações espaciais. Igualmente, um predicado de junção espacial $J(x,y)$ envolve apenas operações espaciais.

Uma forma de junção pode ser assim ilustrada: para cada avenida do município de Juiz de Fora, selecionam-se as instituições que atendem a jovens que estão a menos de 2km de uma avenida.

Em se tratando de otimização de consultas, a junção espacial é uma operação muito importante já que produz como resultado uma coleção de objetos e valores que satisfaz as restrições espaciais. O termo junção espacial é utilizado como analogia à operação de junção em bancos de dados convencionais e denota o conjunto de operações em que ocorre a comparação entre dois conjuntos de objetos, baseando-se em um predicado espacial computado sobre suas representações.

2.7 Conclusão

As extensões espaciais foram desenvolvidas visando possibilitar o armazenamento, a manipulação e a análise dos dados espaciais; ou seja, oferecer suporte aos dados espaciais e às suas peculiaridades. No estudo de caso (Capítulo 5) será apresentada uma visão prática dessas particularidades de armazenamento e manipulação dos dados espaciais, bem como foram construídos e alimentados os bancos de dados dos Projetos Observatório e Mapeamento da Rede Sócio-Assistencial à Infância e Juventude de Juiz de Fora. No próximo capítulo, será apresentado o consórcio que define padrões que descrevem especificações, as quais visam garantir a compatibilidade entre as extensões espaciais disponíveis, ou seja, essas especificações têm como objetivo a padronização dos tipos geométricos SQL e operadores espaciais, proporcionando a interoperabilidade entre as extensões espaciais.

Capítulo 3

Conceitos básicos das extensões espaciais

A incompatibilidade de formatos de armazenamento dos dados espaciais foi um dos motivos que levaram à criação do OGC. Esse consórcio visa criar especificações técnicas e formato padrão para os softwares de Geoprocessamento. A especificação OpenGIS define um conjunto padrão de tipos geométricos SQL e operadores espaciais. Desse modo, é garantida a compatibilidade entre os softwares; inclusive as extensões espaciais são desenvolvidas com base nessa especificação. A arquitetura do OpenGIS define as principais classes geométricas e os principais métodos suportados por essa especificação.

3.1 OGC e OpenGIS

Em 1994, foi criado o OGC, que é uma organização internacional de padrões, sem fins lucrativos, que visa desenvolver as especificações técnicas e criar um formato padrão aberto para softwares de Geoprocessamento para, desse modo, garantir a interoperabilidade entre sistemas voltados para área de Geotecnologias. É um consórcio com mais de 250 companhias, agências, universidades que participam do desenvolvimento de soluções conceituais, as quais são disponibilizadas publicamente, podendo ser úteis para todos os tipos de aplicações que gerenciam dados espaciais.

No princípio, o consórcio OGC era denominado OpenGIS. Posteriormente, quando ele passou a ser denominado OGC, suas especificações e documentos criados receberam a denominação de OpenGIS. Essa designação OpenGIS também está associada a produtos que implementam ou atendem às especificações OGC. Serviços de obtenção de posicionamento e Geoprocessamento bem como programas de desenvolvimento de tecnologia devem atender às especificações OpenGIS. De acordo com CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO (2001), o objetivo técnico do OpenGIS é definir e manter: “Um modelo universal de dados espaço-temporais e de processos, chamado modelo de dados OpenGIS; uma especificação para cada uma das principais linguagens de consulta a banco de dados para implementar o modelo de dados OpenGIS; uma especificação para cada um dos principais ambientes computacionais distribuídos para implementar o modelo de processo OpenGIS.”

A *Simple Features Specification* (SFS) define um formato, de acordo com o SQL padrão para armazenamento, leitura, análise e atualização de dados geográficos via ODBC API. O OGC define um padrão que permite a composição de atributos espaciais e não-

espaciais. Desse modo, a especificação SQL, do OpenGIS, descreve um conjunto padrão de tipos geométricos SQL e operadores espaciais.

Segundo BOGORNY (1999), a proposta da OpenGIS, especificação abstrata, é criar e documentar um modelo conceitual que permita a criação de especificações de implementação. A especificação abstrata consiste de dois modelos: (1) o essencial, que representa os fatos do mundo real; (2) o abstrato, que representa a descrição de como o software de SIG funcionará.

As extensões espaciais são baseadas nas especificações da Norma SQL/MM *Spatial* (ISO/IEC, 1999), e essas especificações se embasam na SFSSQL (*Simple Features Specification for SQL*) do OpenGIS: “O propósito da sua especificação SQL é definir um esquema SQL padrão que suporte o armazenamento, recuperação, consulta e atualização de coleções de dados geo-espaciais via ODBC API” (CORTEZ, 2002). “Em termos práticos, a ODBC permite que uma aplicação acesse simultaneamente uma variedade de SGBDs, relacionais e não-relacionais, situados em locais diferentes, através de uma única API. Além disso, ela padroniza as mensagens de erro, a interface de conexão com as fontes de dados, os tipos de dados e, até mesmo, a linguagem SQL utilizada, o que significa maior portabilidade do aplicativo.” (MARTINS, 2007)

De modo geral, as extensões espaciais disponíveis no mercado, Oracle Spatial, IBM DB2 *Spatial Extender*, Informix *Spatial Datablade*, PostGIS, MySQL, baseiam-se nas especificações do OpenGIS, como dito anteriormente; entretanto, possuem variações relevantes entre os modelos de dados, semântica dos operadores espaciais e mecanismos de indexação.

Segundo PINHEIRO (2006), o consórcio OpenGIS também padroniza construções topológicas avançadas tais como:

- *Coverage* (cobertura) inclui imagens, mapas, campos;
- *Surface* (superfície) é tratada como um objeto geométrico de duas dimensões, com um limite exterior representado por um polígono plano;
- *Network* é formado por uma quantidade finita de pontos que formam os nós de uma rede. Nas palavras de BÜCHNER (2002), o *Network* é formado por um conjunto de linhas que iniciam e terminam em nós distintos desta rede.

3.2 Arquitetura do OpenGIS

A arquitetura do OpenGIS é orientada a objetos, definindo as principais classes geométricas e os principais métodos espaciais suportados pela especificação.

3.2.1 Modelos de classes para objetos espaciais

A especificação do OpenGIS descreve um conjunto de tipos geométricos do SQL, bem como funções desse tipo para criar e analisar valores geométricos.

O conjunto de tipos geométricos, proposto pelo ambiente SQL com tipos geométricos da OGC, é base do Modelo Geométrico OpenGIS. Nesse modelo, cada objeto geométrico tem as seguintes características gerais: (1) é associado com um Sistema de Referência Espacial, que descreve a coordenada espacial, na qual o objeto é definido; (2) pertence a alguma classe geométrica. A figura 3.1 é baseada na extensão do Modelo Geométrico especificado pelo OpenGIS para um objeto espacial. Pode-se definir objeto espacial como sendo uma classe abstrata, que está acima da classe Geometria (*Geometry*) na Hierarquia de Classe de Representação de um objeto espacial.

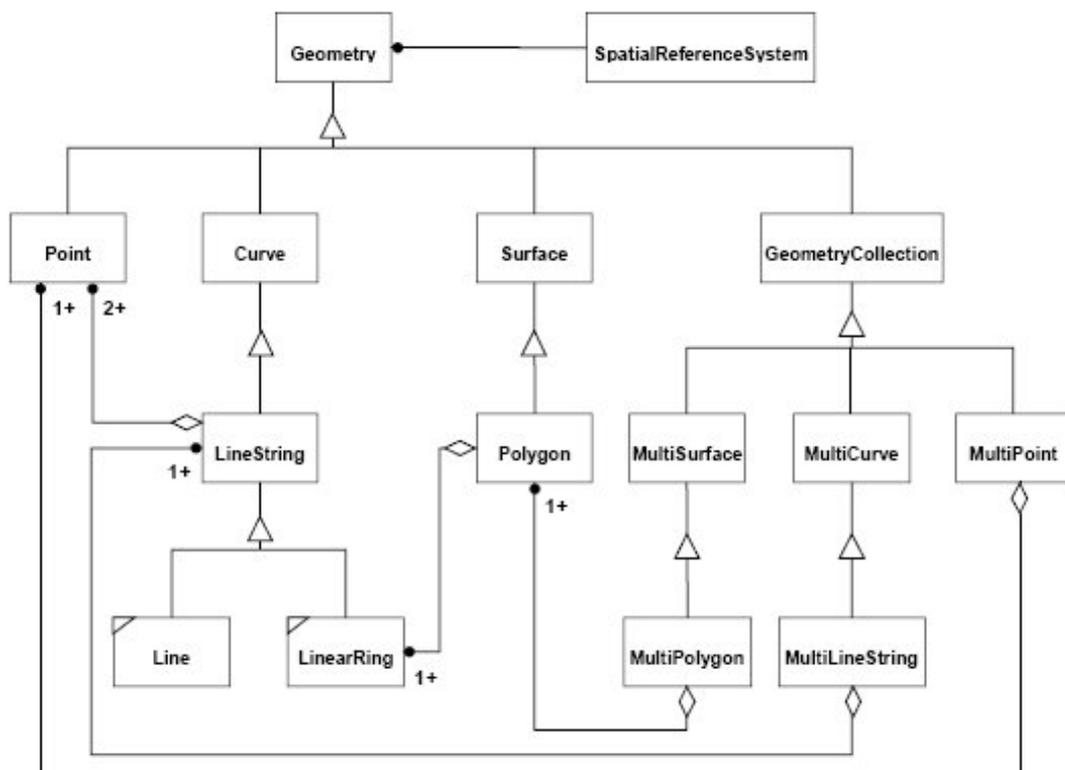


Figura 3.1 – Hierarquia de Classe Geométrica (OGC, 2007)

A Geometria (*Geometry*) é a classe raiz da hierarquia da representação de um objeto espacial; as subclasses que a compõem formam o conjunto mínimo de construtores para a especificação do componente espacial dos fenômenos geográficos na visão de objetos. Os subtipos são divididos em duas categorias: os subtipos de figura geométrica base e os subtipos de coleção homogênea³. Assim, a classe Geometria possui as subclasses

³ As coleções homogêneas são coleções de figuras geométricas básicas. Além de compartilhar as propriedades da figura geométrica básica, apresentam algumas propriedades específicas.

Ponto (*Point*), Curva (*Curve*), Superfície (*Surface*) e Coleção de Geometrias (*GeometryCollection*), que constituem o conjunto mínimo de classes necessárias para a fase do projeto conceitual de um objeto espacial.

A classe Curva (*Curve*) abrange objetos de uma dimensão – geralmente, essa dimensão é armazenada como uma seqüência de pontos – e possui como subclasse Cadeia de Linhas (*LineString*). Esta por sua vez tem como subclasses Linha (*Line*) e Anel Linear (*LinearRing*). Já a classe Superfície (*Surface*) abrange os objetos bidimensionais e possui como subclasse Polígono (*Polygon*). A classe Coleção de Geometrias (*GeometryCollection*) abarca subclasses de coleção com zero, uma ou duas dimensões denominadas Multisuperfícies, Multicurvas, Multipontos (*MultiPoint*), Cadeias Múltiplas (*MultiLineString*) e Multipolígonos (*MultiPolygon*).

As classes Multicurva (*MultiCurve*) e Multisuperfície (*MultiSurface*) representam superclasses abstratas que generalizam a interface de coleção para manusear Curvas (*Curves*) e Superfícies (*Surfaces*). Geometria (*Geometry*), Curva (*Curve*), Superfície (*Surface*), Multicurva (*MultiCurve*) e Multisuperfície (*MultiSurface*) são definidas como classes não-instanciáveis, porém definem um conjunto de métodos comuns para suas subclasses. Ponto (*Point*), Cadeia de Linhas (*LineString*), Polígono (*Polygon*), Coleção de Geometrias (*GeometryCollection*), multiponto (*MultiPoint*), Cadeias Múltiplas (*MultiLineString*), Multipolígono (*MultiPolygon*) são classes instanciáveis (MySQL, 2007).

A Geometria (*Geometry*) é uma classe abstrata, desse modo, não é instanciável. Sendo assim, todas as classes geométricas instanciáveis são definidas para que instâncias válidas da classe Geometria (*Geometry*) sejam topologicamente fechadas, ou seja, que todas as geometrias definidas incluam seus limites. “A geometria é definida como um ponto, ou um agregado de pontos, representando uma localização de um objeto” (MySQL, 2007).

Resumidamente, conforme ilustrado na figura 3.2, há uma superclasse chamada geometria é a raiz da hierarquia. Os subtipos são divididos em duas categorias: os subtipos de representação geométrica base e os subtipos de coleção homogênea. Existem sete tipos geométricos na hierarquia (pontos, cadeias de linhas, polígonos, coleções de geometrias, multipontos, cadeias multilinhas e multipolígonos) que são instanciáveis. Já o tipo raiz (geometria) e outros subtipos adequados na hierarquia (curva, superfície, multisuperfície e multicurvas) que não são instanciáveis. Além disso, os usuários podem definir seus próprios subtipos adequados instanciáveis ou não instanciáveis.

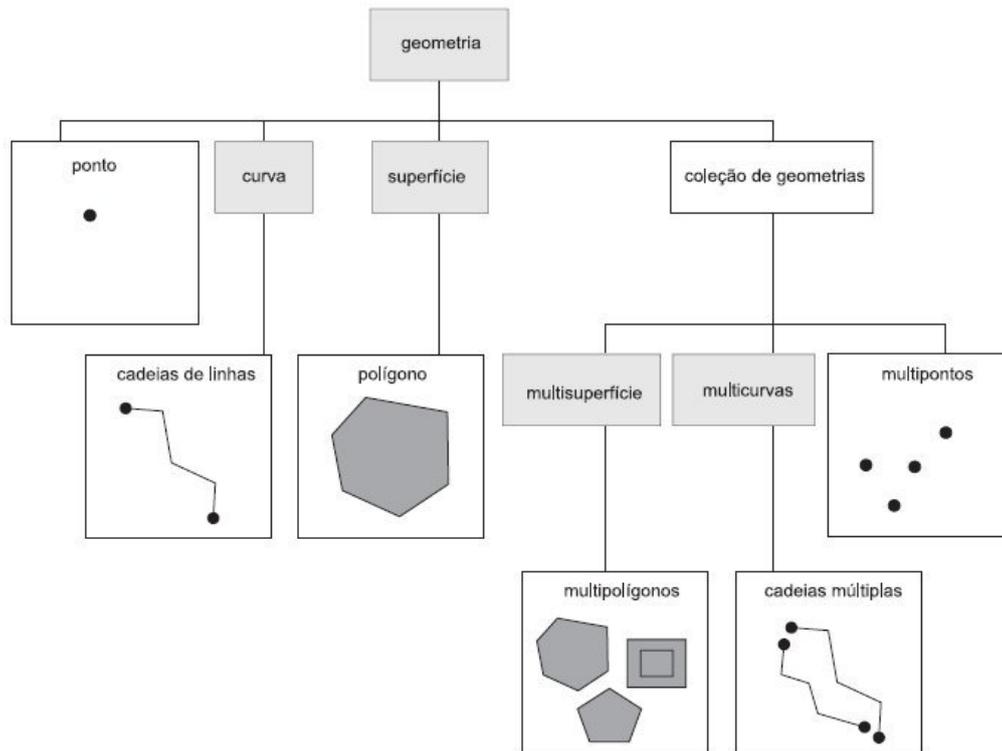


Figura 3.2 – Hierarquia de Classe Geométrica (DB2 SPATIAL EXTENDER, 2007)

As coleções homogêneas são coleções de tipos geométricos básicos. Além de compartilhar as propriedades do tipo geométrico básico, elas também possuem algumas propriedades próprias.

3.2.2 Exemplos de alguns tipos de geometria

A seguir serão descritos e exemplificados alguns tipos de geometrias utilizados para representar os objetos espaciais em um banco de dados com suporte espacial.

3.2.2.1 Tipo Ponto (*Point*)

O ponto é uma entidade geométrica, cuja característica é a adimensionalidade (dimensão zero), sua única propriedade é a posição. Um ponto possui um valor para a coordenada x e outro para a coordenada y, ou seja, é representado por um par ordenado (x, y) de coordenadas espaciais que permite a sua localização. É a forma simples de representação dos objetos espaciais.

O ponto representa uma forma geométrica que pode ser inserido em um banco de dados espacial. O ponto pode ser bidimensional ou até mesmo tridimensional. A figura 3.3 ilustra um objeto do tipo espacial: *Point* (0,0) com coordenadas x e y:

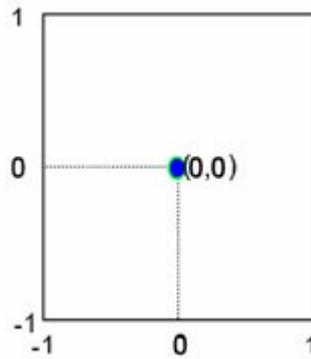


Figura 3.3 – Objeto espacial do tipo Ponto (BÜCHENER, 2002)

O tipo de objeto Ponto pode ser utilizado para armazenar a posição relativa à longitude, à latitude e à altitude de um ponto. A localização de uma instituição em um município é um exemplo da representação pontual.

3.2.2.2 Tipo Cadeia de Linhas (*LineString*)

A linha representa uma figura geométrica de uma dimensão, ou seja, unidimensional, com recursos geográficos lineares. É um conjunto de coordenadas ordenadas, que representa a forma das feições geográficas, muito estreitas para serem visualizadas como área numa dada escala (por exemplo, curvas de nível, ruas ou rios) ou feições lineares, sem áreas (divisas ou fronteiras). A cadeia de linhas é uma coleção ordenada de segmentos que podem estar unidos ou conectados.

O tipo de dados Cadeia de Linhas pode ser visto como um conjunto de linhas (com início x e final y). *LineString* (x y , ..., x y). A figura 3.4 ilustra o tipo *LineString* (0 0,1 1,1 2).

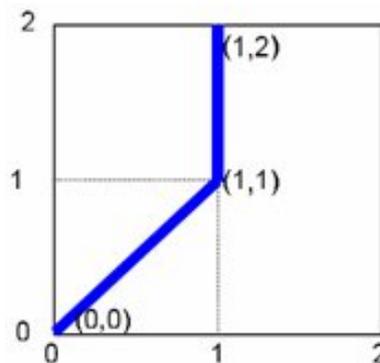


Figura 3.4 – Objeto espacial do tipo Cadeia de Linhas (BÜCHENER, 2002)

As Cadeias de Linhas podem ser utilizadas para representar ruas, estradas, muros, além disso, podem ser utilizadas juntamente com os pontos, para representar estruturas de redes.

3.2.2.3 Tipo Cadeia Multilinhas (*MultiLineString*)

O tipo Cadeia Multilinhas, ou Cadeia Múltiplas, representa várias Cadeias de Linhas (*LineStrings*); representa recursos de várias partes de que são compostos. Esse tipo de objeto pode ser resultado de operações de *Collect* para linha.

A sintaxe é *MultiLineString*: ((*LineString* 1), (*LineString* 2), (...), (*LineString* n)). A figura 3.5 exemplifica esse tipo de objeto para a *MultiLineString* ((0 0 0, 1 1 0, 1 2 1), (2 3 1, 3 2 1, 5 4 1))

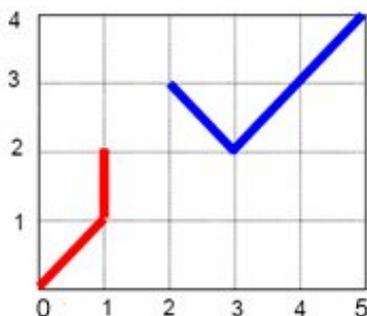


Figura 3.5 – Objeto espacial do tipo Cadeia Multilinhas (BÜCHENER, 2002)

As Cadeias Multilinhas podem ser utilizadas para descrever a geometria de delimitação de municípios, bairros, regiões, por exemplo.

3.2.2.4 Tipo Polígono (*Polygon*)

O polígono⁴ é uma figura geométrica plana, limitada por segmentos de retas consecutivos não-alinhados, chamados lados – por exemplo, o hexágono é um polígono de seis lados. O objeto polígono é representado por um par ordenado (x, y, z) de coordenadas espaciais que permite a sua localização. É formado pelo limite exterior e interior.

A sintaxe é: *Polygon* (x y z, x y z, ..., x y z). A figura 3.6 ilustra esse tipo de objeto com as seguintes coordenadas: *Polygon* ((0 0 0, 4 0 0, 4 4 0, 0 4 0, 0 0 0), (1 1 0, 2 1 0, 2 2 0, 1 2 0, 1 1 0));

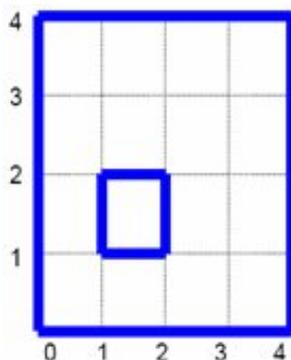


Figura 3.6 – Objeto espacial do tipo Polígono (BÜCHENER, 2002)

4 A palavra "polígono" advém do grego e quer dizer muitos (*poly*) ângulos (*gon*).

O polígono é utilizado para representar objetos individualizáveis do mundo real e os limites das entidades definidos originalmente pelos próprios fenômenos, cuja área possui relevância para a aplicação. Elementos geográficos como estados, grandes lagos, edificações, cidades, regiões são representados por polígonos, que podem ser simples ou complexos.

A seguir será realizada uma descrição dos métodos espaciais e das funções que foram definidas na especificação para classe geometria. Essas funções são agrupadas em métodos de classe, métodos de relação espacial entre geometrias e métodos de conjunto.

3.2.2.5 Outros tipos Geométricos

Há outras classes geométricas que foram ilustradas na figura 3.1 e que não foram ilustradas anteriormente, porém elas também herdam os métodos definidos a seguir: métodos da classe Geometria, verificação de relações espaciais entre objetos e operação de conjunto.

3.2.3 Métodos Espaciais

Os métodos que manipulam geometrias servem para retornar e inserir o valor de um atributo de geometria.

3.2.3.1 Métodos da classe Geometria

A classe Geometria apresenta vários métodos que retornam informações. Segue a descrição de alguns desses métodos:

- ***Dimension()***: *Integer*

Retorna a dimensão herdada de um dado objeto geométrico.

- ***GeometryType()***: *String*

Retorna o nome do subtipo instanciável da geometria, da qual uma dada instância de Geometria é membro.

- ***Boundary()***: *Geometry*

Retorna os limites de uma dada geometria.

- ***SRID()***: *Integer*

Retorna a Identificação do Sistema de Referência Espacial para uma dada geometria.

- ***IsEmpty()***: *Integer*

Retorna 1 (Verdadeiro) se a geometria está vazia.

- ***AsTex()***: *String*

Retorna a geometria como uma representação textual bem formada.

- ***AsBinary()***: *Binary*

Retorna a geometria como uma representação binária bem formada.

3.2.3.2 Métodos para verificar relações espaciais entre objetos geométricos

Os métodos descritos a seguir realizam testes de relações espaciais entre dois ou mais objetos geométricos:

- ***Equals (another Geometry: Geometry): Integer***

Retorna 1 (Verdadeiro) se uma dada geometria for espacialmente igual a uma outra geometria, ou seja, representada pelo mesmo tipo geométrico.

- ***Disjoint (another Geometry: Geometry): Integer***

Retorna 1 (Verdadeiro) se uma dada geometria for espacialmente disjunta de uma outra geometria.

- ***Intersects (another Geometry: Geometry): Integer***

Retorna 1 (Verdadeiro) se uma dada geometria intersectar espacialmente uma outra geometria.

- ***Touches (another Geometry: Geometry): Integer***

Retorna 1 (Verdadeiro) se uma dada geometria toca espacialmente uma outra geometria⁵.

- ***Within (another Geometry: Geometry): Integer***

Retorna 1 (Verdadeiro) se uma dada geometria está contida espacialmente na outra geometria.

- ***Contains (another Geometry: Geometry): Integer***

Retorna 1 (Verdadeiro) se uma dada geometria contém espacialmente uma outra geometria.

- ***Overlaps (another Geometry: Geometry): Integer***

Retorna 1 (Verdadeiro) se uma dada geometria sobrepõe espacialmente uma outra geometria.

- ***Crosses (another Geometry: Geometry): Integer***

Retorna 1 (Verdadeiro) se uma geometria cruza espacialmente outra geometria⁶.
Retorna NULL se a geometria é um *Polygon* ou um *MultiPolygon*, ou se a outra geometria é do tipo *Point* ou *MutiPoint*. Senão 0 (Falso) é retornado.

⁵ Duas geometrias se tocam espacialmente se o interior de ambas as geometrias não se interceptam, mas o limite de uma delas intercepta o limite ou o interior das geometrias.

⁶ O termo “cruza espacialmente” denota uma relação espacial entre duas geometrias que têm as seguintes propriedades: (1) as duas geometrias se interceptam; (2) a interseção resulta em uma geometria que tem uma dimensão que é menor que a dimensão máxima das duas geometrias dadas; (3) a interseção não é igual a nenhuma das duas geometrias dadas.

3.2.3.3 Métodos de operação de conjunto entre objetos geométricos

Os métodos a seguir, disponíveis na especificação OpenGIS, implementam operação de conjunto entre objetos geométricos.

- ***Difference (another Geometry: Geometry): Geometry***

Retorna uma geometria que é a diferença entre esta geometria com a geometria do argumento.

- ***Intersection (another Geometry: Geometry): Geometry***

Retorna a geometria que representa o conjunto de pontos de intersecção entre uma dada geometria e uma outra geometria.

- ***Union (another Geometry: Geometry): Geometry***

Retorna a geometria que representa o conjunto de pontos da união de uma dada geometria com uma outra geometria.

3.2.4 Sistema de Coordenadas

O sistema de coordenadas representa uma ferramenta conceitual que visa definir as localizações relativas de objetos em uma determinada área. O sistema de coordenadas geográficas consiste em um sistema de grades que utiliza uma superfície esférica tridimensional para determinar localizações para determinada área na Terra. Desse modo, qualquer localização na Terra pode ser referenciada por um ponto, no qual as linhas horizontal e vertical da grade se cruzam. Esses valores para os pontos podem ser medidos em radianos ou em graus, minutos, segundos (DMS), ou ainda, em escalas decimais. A figura 3.7 ilustra o sistema de coordenadas geográficas.

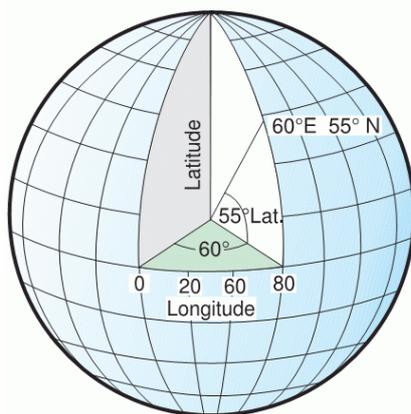


Figura 3.7 – Sistema de Coordenadas Geográficas (IBM DB2 SPATIAL EXTENDER, 2007)

As linhas horizontais são chamadas de linhas latitudinais, elas são equidistantes e paralelas e formam círculos concêntricos ao redor da Terra. A linha do Equador divide a Terra ao meio, já que ela tem a mesma distância de cada pólo. O valor dessa linha é de

zero graus, os valores ao norte dessa linha possuem medidas positivas que variam de 0 a +90graus, já os valores ao sul possuem medidas negativas que variam de 0 a -90graus.

As linhas verticais são chamadas de linhas longitudinais, também referidas como meridianos. Elas são linhas semicirculares, isto é, linhas de 180graus, que vão do Pólo Norte ao Pólo Sul e cruzam com os paralelos. Cada meridiano possui o seu antimeridiano, ou seja, um meridiano oposto que, junto com ele, forma uma circunferência. Todos os meridianos têm o mesmo tamanho. Convencionou-se que o meridiano de *Greenwich*, que passa pelos arredores da cidade de *Londres*, na Inglaterra, é o meridiano principal que define a origem (zero graus) para coordenadas longitudinais. Os valores a leste dessa linha possuem medidas positivas que variam de 0 a +180graus, já os valores a oeste possuem medidas negativas que variam de 0 a -180graus.

A partir dos paralelos e meridianos, estabeleceram-se as coordenadas geográficas, que são medidas em graus, para localizar qualquer ponto da superfície terrestre. Sendo assim, as linhas latitudinais e longitudinais compõem o globo terrestre para formar uma rede de grades chamada graticula. O ponto de origem da graticula é (0,0), em que a linha do Equador e a linha do meridiano de *Greenwich* se cruzam. Como as linhas longitudinais se convergem nos pólos, a distância entre cada meridiano é diferente em cada linha latitudinal que o intercepta. Além disso, as linhas latitudinais, que são círculos concêntricos, ficam cada vez menores quanto mais se aproxima dos pólos – elas formam um único ponto nos pólos. Desse modo, à medida que se aproxima dos pólos, a diferença entre um grau de latitude será muito maior do que um grau de longitude, conforme se vê na figura 3.8.

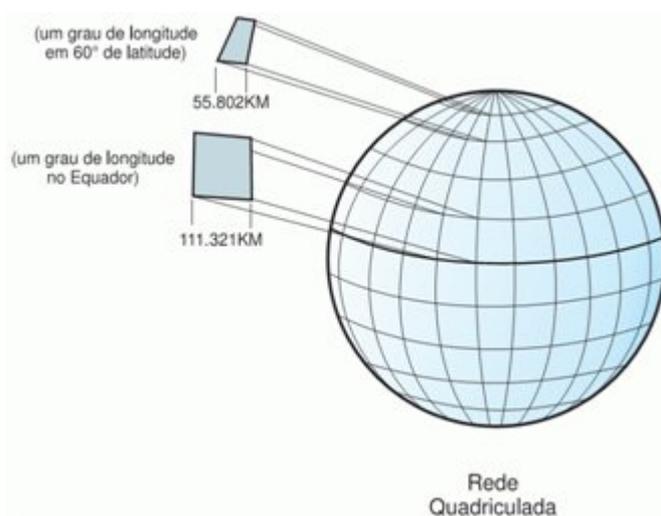


Figura 3.8 – Diferentes dimensões na graticula (IBM DB2 SPATIAL EXTENDER, 2007)

Um sistema de coordenadas pode representar uma aproximação da esfera ou esferóide do formato da Terra. Como sabemos que a Terra não é perfeitamente redonda, um esferóide⁷ pode ajudar a manter a precisão em mapas de larga escala. Em mapas de pequena escala, uma esfera pode ser utilizada para representar a Terra, já que, nesse caso, as diferenças entre duas representações da Terra (esferóide e esférica), são visualmente imperceptíveis. A seguir é ilustrada a forma geométrica da esfera e do esferóide (figura 3.9).

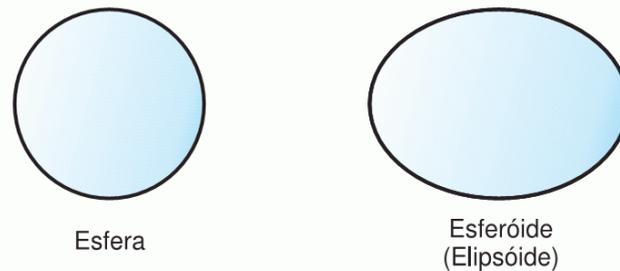


Figura 3.9 – Formas geométricas de representação da Terra (IBM DB2 SPATIAL EXTENDER, 2007)

Dessa forma, latitudes, longitudes, seus pontos de referência, unidades de medida e outros parâmetros associados são referidos coletivamente como um sistema de coordenadas. Também existem sistemas de coordenadas baseados em valores diferentes de latitude e longitude. Esses sistemas de coordenadas têm seus próprios pontos de referência, unidades de medida e parâmetros de distinção adicionais.

Os SIGs utilizam um sistema de coordenadas, denominado de Sistema de Referência Espacial⁸, que expressa a posição do objeto em relação à superfície da terra e, através de identificador numérico, determina qual sistema de referência espacial está sendo utilizado para representar determinada geometria. Desse modo, cada classe geométrica é associada a esse Sistema de Referência Espacial (*Spatial Referencing System – SRS*), que descreve as coordenadas no espaço em que a classe é definida. A latitude e a longitude são formas de expressar o espaço, de uma maneira unívoca e exata. O SRS é um conjunto de valores de parâmetros que inclui:

- coordenadas que definem a máxima extensão possível de espaço referido por um determinado intervalo de coordenadas;
- nome do sistema de coordenadas a partir do qual as coordenadas são derivadas;

⁷ Um esferóide é um elipsóide baseado em uma elipse, enquanto uma esfera é baseada em um círculo.

⁸ Todos os sistemas de referência espacial conhecidos no banco de dados podem ser acessados por meio da exibição do catálogo.

- números que, quando aplicados em certas operações matemáticas, convertem coordenadas recebidas como entrada em valores que podem ser processados com eficiência máxima.

Com a finalidade de referenciar da mesma maneira todos os objetos relacionados, utiliza-se um SRID (Identificador do Sistema de Referência Espacial) que, por sua vez, adota um ponto inicial DATUM. Este representa um conjunto de valores que podem ser utilizados como referência ou base de cálculo para outros valores. Cita-se como exemplo a medição, que permite a realização de projeções geométricas. Os *datums* são muito úteis na análise de dados de uma área local. Um *datum* local alinha seu esferóide para ajustar a superfície da Terra em uma determinada área. A figura 3.10 mostra as diferenças de alinhamento de *datums* com a superfície da Terra.

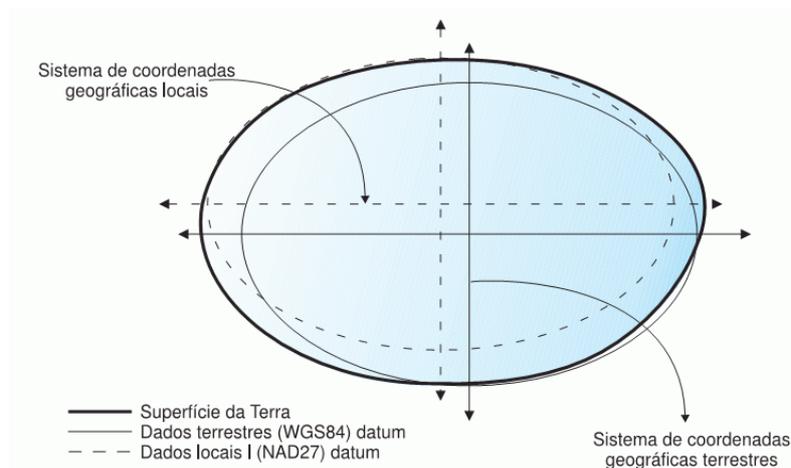


Figura 3.10 – Alinhamento de *datums* (IBM DB2 SPATIAL EXTENDER, 2007)

Um sistema de coordenadas projetado é um sistema de representação de grade plana, bidimensional da Terra. Ele é baseado em um sistema de coordenadas geográficas de esfera ou esferóide, porém utiliza unidades de medidas lineares para coordenadas, para que os cálculos de distância e de área possam ser expressos em termos de unidades como pés ou metros. Segundo LISBOA FILHO (2001), “as coordenadas latitudinais e longitudinais são representadas por valores (x,y), concebendo o valor do ponto sobre cada um dos eixos. Normalmente, o eixo horizontal é associado para a longitude, enquanto o vertical fica associado à latitude, o que torna possível a conversão entre os sistemas de coordenadas, a partir de transformações matemáticas.” Esse tipo de sistema de coordenadas planas é formado por um par de eixos perpendiculares, cuja intersecção representa a localização de qualquer ponto sobre determinado plano.

Para converter um sistema de coordenadas geográficas tridimensional em um sistema de coordenadas projetado plano bidimensional, são utilizadas fórmulas

matemáticas. Essa transformação é referenciada como uma projeção de mapa. Esse sistema de coordenadas geográficas geralmente é classificado pela superfície da projeção utilizada, como superfícies cônicas, cilíndricas e planas. As propriedades espaciais podem apresentar diferenças dependendo da projeção adotada, já que há distorções na representação. Desse modo, quando se trabalha com objetos espaciais, estes podem estar em diferentes modelos de representação, ou seja, em diferentes sistemas de projeção. Desse modo, suas posições geográficas podem divergir; sendo assim, os SIGs devem realizar a integração dos resultados em um único sistema de projeção através da conversão de dados.

3.3 SQL do OpenGIS

Visando entender a maneira com as consultas podem ser realizadas através do SQL OpenGIS, consideremos o SQL com tipos geométricos, conforme ilustrado anteriormente na figura 3.1 e figura 3.2, definidos a partir da figura 3.11 (apresentada a seguir).

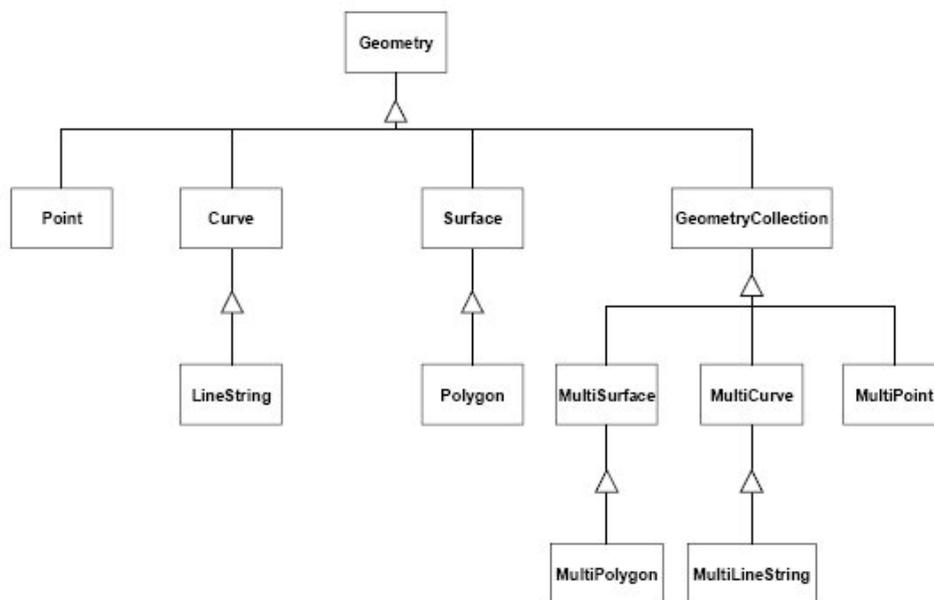


Figura 3.11 – Relacionamento entre os tipos geométricos e subtipos do OpenGIS (OGC, 2007)

3.3.1 Construtor da Linguagem

Para tornar possível a criação de objetos geométricos na especificação SQL do OpenGIS, algumas funções foram definidas para atender a essas necessidades. Cada objeto com determinado tipo de geometria possui uma representação textual conhecida WKT (*Well Know Text*), que pode ser usada para a construção de novas instâncias.

Existem funções específicas para a criação de uma instância de geometria, dada a sua WKT, sendo que as mesmas funcionam como uma fábrica de tipos geométricos para linguagem SQL, como apresentado a seguir⁹:

- ***GeoFromText (geometry Tagged Text String, SRID integer): Geometry***

Constrói uma geometria dada sua representação textual.

- ***PointFromText (point Tagged Text String, SRID integer): Point***

Constrói um ponto dado sua representação textual.

- ***PolyFromText (polygon Tagged Text String, SRID integer): Polygon***

Constrói um polígono dado sua representação textual.

- ***LineFromText (line String Tagged Text String, SRID integer): Line***

Constrói uma linha dada sua representação textual.

Porém nem todos os tipos geométricos apresentados na figura 3.6 são instanciáveis, ou seja, nem todos podem ser criados a partir de uma WKT. Geometria, curva, superfície, multicurva e multisuperfície são exemplos de tipos geométricos que não têm uma representação textual WKT.

Entretanto, são definidas funções *GeoFromWKB* que constroem instâncias, tomando como argumento uma representação binária bem formada (*WKBGeometry*), e um ID para uma sistema de referência espacial (SRID). Como vimos anteriormente em *WKTGeometry*, essas funções operam como fábricas de tipos.

- ***GeoFromWKB (WKB Geometry Binário, SRID integer): Geometry***

Constrói uma geometria dada sua representação binária.

- ***PointFromWKB (WKB Point Binário, SRID integer): Point***

Constrói um ponto dado sua representação binária.

- ***Poly FromWKB (WKB Polygon Binário, SRID integer): Polygon***

Constrói um polígono dado sua representação binária.

- ***LineFromWKB (WKB Line Binário, SRID integer): Line***

Constrói uma linha dada sua representação binária.

3.3.2 Funções de Consulta SQL

Anteriormente, foram apresentadas algumas funções para criação de instâncias geométricas. Seguem algumas funções que auxiliam na construção das consultas SQL. Essas funções dividem-se em dois grupos: (1) permite testar algumas relações espaciais entre as geometrias, sendo conhecido na literatura como relacionamentos topológicos; (2)

⁹ Denota-se SRID (*Spatial Reference System ID*) a Identificador do Sistema de Referência Espacial.

efetua alguma operação de conjunto entre as geometrias, obtendo uma nova geometria como resultado.

3.3.2.1 Funções que testam relações espaciais (Relacionamentos Topológicos)

As funções de relacionamento espacial retornam um valor *booleano* e são invariantes em suas respostas diante das transformações, como mudanças de escala, translações e rotação (CÂMARA *et al.*, 1996). Entre as funções topológicas, pode-se destacar:

- ***Equals* (g1 Geometria, g2 Geometria)**

Retorna *TRUE* se g1 e g2 são iguais.

- ***Disjoint* (g1 Geometria, g2 Geometria)**

Retorna *TRUE* se interseção de g1 com g2 é vazia.

- ***Touches* (g1 Geometria, g2 Geometria)**

Retorna *TRUE* se existe ao menos um ponto em comum entre g1 e g2.

- ***Within* (g1 Geometria, g2 Geometria)**

Retorna *TRUE* se g1 é completamente contido em g2.

- ***Overlaps* (g1 Geometria, g2 Geometria)**

Retorna *TRUE* se uma dada geometria g1 sobrepõe espacialmente g2.

- ***Intersects* (g1 Geometria, g2 Geometria)**

Retorna *TRUE* se a interseção de g1 com g2 não é vazia.

- ***Contains* (g1 Geometria, g2 Geometria)**

Retorna *TRUE* se g1 contém g2.

3.3.2.2 Funções que implementam operações de conjunto

Diferente dos relacionamentos topológicos, os operadores espaciais – que retornam como resultado uma geometria – apresentam resultados que são variantes face às transformações:

- ***Intersection* (g1 Geometria, g2 Geometria)**

Retorna uma geometria que é a interseção de g1 com g2.

- ***Difference* (g1 Geometria, g2 Geometria)**

Retorna uma geometria que é a diferença de g1 e g2.

- ***Union* (g1 Geometria, g2 Geometria)**

Retorna uma geometria que é a união de g1 com g2.

3.4 Conclusão

De acordo com o que se apresentou neste capítulo, pode-se notar a existência de um consórcio que desenvolve um conjunto de padrões que possibilitam a compatibilidade de formatos entre as extensões espaciais. Ou seja, o OGC apresenta especificações e

documentos – denominados OpenGIS – que descrevem as formas geométricas e métodos que servem de base para o desenvolvimento de extensões espaciais, possibilitando uma normalização desses aspectos. No estudo de caso (Capítulo 5) será mostrado detalhes de aspectos descritos na especificação OpenGIS; por exemplo, os tipos geométricos que são utilizados para representar os objetos (instituições, ruas, bairros, regiões). No próximo capítulo, serão apresentadas as extensões espaciais e suas principais características, entre as quais destaca-se a especificação OpenGIS, que colabora para o desenvolvimento dessas extensões.

Capítulo 4

SGBDs com extensões espaciais

Como se viu, nos capítulos anteriores, com a incorporação de recursos para definição, armazenamento e manipulação de dados complexos através da orientação a objetos, os SGBD-OR permitiram o desenvolvimento e a evolução de extensões que dão suporte a dados complexos, entre os quais destacam-se os dados geo-referenciados (tanto os atributos descritivos quanto as geometrias de dados espaciais passam a ser gerenciados pelo SGBD).

Toda a operação do SIG é baseada em um modelo de dados orientado a objetos, os quais contêm todas as informações sobre cada classe de objetos, incluindo características gráficas e alfanuméricas, além de aspectos do comportamento do objeto. Sendo assim, essa integração de atributos e as geometrias de dados geo-referenciados em um SGBD, através da arquitetura integrada de um SIG, possibilitou o desenvolvimento da tecnologia de SIG, permitindo a transição dos sistemas monolíticos – que compreendem centenas de funções – para uma nova geração de aplicativos geográficos (“*spatial information appliances*”). Esses aplicativos são sistemas dedicados para atender a necessidades específicas. É nesse contexto que surgem as extensões espaciais que acrescentam aos SGBDs algumas funcionalidades tais como:

- suporte a tipos de dados espaciais, entre eles: linha, polígono, ponto, multipontos, etc;
- implementação de novos mecanismos de indexação (*R-tree*, *Quad-tree*, etc.) que otimizam as consultas de dados espaciais no SGBD;
- incorporação de novos operadores e funções à linguagem SQL para manipular dados espaciais; desse modo, tornou-se possível realizar consultas em SGBD-OR mesclando em um único comando SQL operadores e predicativos alfanuméricos e espaciais.

Além disso, os SGBDs que possuem extensão espacial, como o Oracle Spatial, o PostgreSQL/PostGIS, armazenam os dados espaciais em tipos de dados específicos. Já os SGBDs, que não possuem essa extensão, armazenam os dados espaciais vetoriais em campos longos binários (BLOB). Porém, em todos os SGBDs, os dados matriciais são armazenados em BLOBs, já que nenhuma extensão espacial oferece recursos para tratar esse tipo de dado.

Com o desenvolvimento das extensões espaciais para SGBDs, a linguagem SQL também teve que ser estendida para atender às novas particularidades de manipulação; desse modo, implementaram-se funções e operadores específicos.

4.1 Comparação das extensões espaciais

Há no mercado diversas opções de SGBDs, proprietárias e livres. Dentre os SGBDs disponíveis podem-se destacar: IBM DB2 UDB, MySQL, Oracle, PostgreSQL. Todos possuem a extensão espacial que fornecem suporte ao SIG. A tabela 4.1 mostra os principais SGBDs disponíveis no mercado e as extensões espaciais em estudo neste trabalho.

Tabela 4.1 – SGBDs e suas extensões espaciais

Extensão Espacial	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados						
	DB2	Firebird	IDS	MySQL	Oracle	PostgreSQL	SQL Server
IBM DB2 <i>Spatial Extender</i>	X						
Informix <i>Spatial Datblade</i>			X				
MySQL <i>Spatial Extension</i>				X			
Oracle <i>Spatial</i>					X		
PostGIS						X	

Todas essas extensões espaciais baseiam-se na SFSQL OpenGIS; entretanto, há variações relevantes referentes aos modelos de dados, à semântica dos operadores espaciais, aos mecanismos de indexação e ao esquema e sintaxe da SQL estendida com tipos espaciais. A seguir, serão apresentadas as principais características e funcionalidades dessas extensões. Os SGBDs Firebird e SQL Server, como mostrados na Tabela 4.1, ainda não dispõem de extensões espaciais.

4.1.1 IBM DB2 *Spatial Extender*

O **DB2 Universal Database**¹⁰, também conhecido **DB2 UDB**, é um SGBD proprietário da IBM. A versão 8.2 oferece novos recursos (aperfeiçoamento da capacidade de gerenciamento, desempenho, SQL, segurança, entre outras características), além de uma maior integração de ferramentas do DB2 aos ambientes Microsoft .NET e WebSphere Studio/Java; desse modo, proporciona facilidades de desenvolvimento e de implementação

¹⁰ Disponível em: <http://publib.boulder.ibm.com/infocenter/db2luw/v8//index.jsp>

de aplicativos do **DB2**, permitindo que os desenvolvedores de aplicativos aproveitem a abertura, desempenho e escalabilidade do **DB2**, sem considerar o banco de dados de *back-end* ou a arquitetura de aplicativos escolhida.

Segundo o DB2 Universal Database (2007), esse SGBD possui as extensões **DB2 Spatial Extender** e **DB2 Geodetic Extender** para gerenciar dados do SIG em seu banco de dados. Cada uma dessas extensões utiliza aspectos principais diferentes que resolvem problemas diferentes e se complementam:

- O **Geodetic Extender** trata a Terra como um globo. Ele utiliza um sistema de coordenadas de latitude e de longitude em um modelo de Terra elipsoidal. As operações geométricas são precisas, independentemente da localização. O **Geodetic Extender** é mais apropriado para conjuntos de dados globais e aplicativos que cobrem grandes áreas na Terra, das quais uma única projeção de mapa não pode fornecer a precisão requerida pelo aplicativo.
- O **Spatial Extender** trata a Terra como um mapa plano. Ele utiliza a geometria planimétrica (plana), ou seja, aproxima a superfície redonda da Terra projetando-a em um plano. Cada projeção de mapa plano possui algum tipo de distorção. O **Spatial Extender**¹¹ é apropriado para conjuntos de dados locais e regionais, que são bem representados em coordenadas projetadas e para aplicativos nos quais a precisão da localização não é importante. Neste trabalho, a extensão **DB2 Spatial Extender** será apresentada com mais detalhes.

De acordo com a IBM DB2 SPATIAL EXTENDER (2007), o **DB2 Spatial Extender** foi desenvolvido com a finalidade de fornecer um banco de dados com os recursos para criar colunas espaciais e manipular dados espaciais, de modo a incluir inteligência espacial ao SGBD. Os dados espaciais fornecem informações sobre localizações e medidas de características geográficas. Utilizando o **Spatial Extender IBM DB2 UDB**, pode-se ativar o SGBD para armazenar e recuperar dados espaciais e, dessa forma, fazer análise dos dados espaciais, relacionando-os as informações geográficas a características naturais e culturais. O **Spatial Extender** é utilizado para gerar e analisar informações espaciais sobre recursos geográficos e para armazenar e gerenciar os dados nos quais essas informações são baseadas. Essa extensão está em conformidade com os padrões OGC, propostas pela SFSSQL OpenGIS, e ISO.

A hierarquia de tipos em seu modelo de dados é ilustrada na figura 4.1. Neste

¹¹ Disponível em: <http://www-306.ibm.com/software/data/spatial/db2spatial/library.html>

esquema, uma geometria pode ser formada por um único elemento (ST_POINT, ST_LINESTRING, ST_POLYGON) ou por um conjunto heterogêneo (ST_MULTIPPOINT, ST_MULTILINESTRING, ST_MULTIPOLYGON).

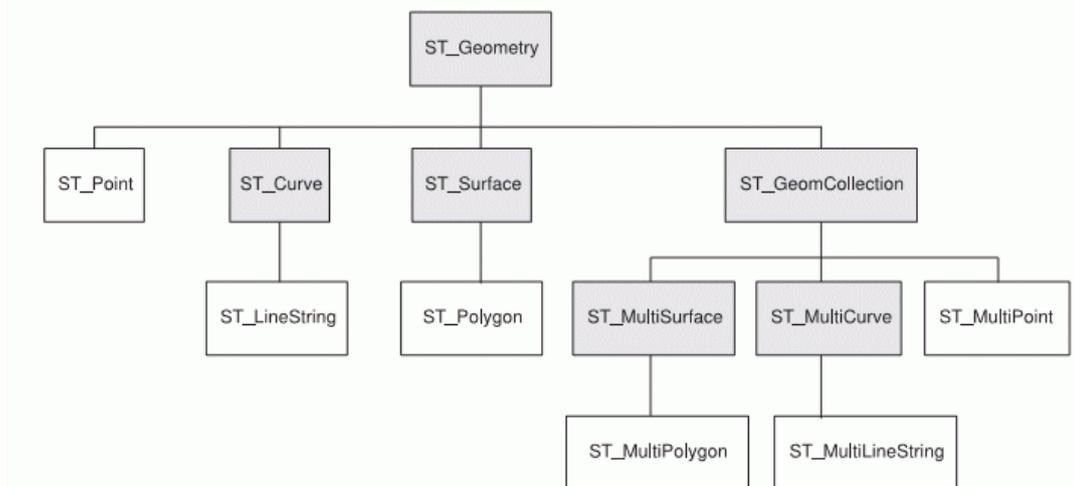


Figura 4.1 – Hierarquia de tipos de dados espaciais (IBM DB2 SPATIAL EXTENDER, 2007)

Na figura 4.1, os tipos de dados representados em caixas brancas podem ser instanciados, já os tipos de dados ilustrados em caixas sombreadas não são instanciáveis.

Com essa extensão o SGBD reconhece esses tipos como tipos primitivos; sendo assim, é possível definir colunas do tipo ST_GEOMETRY, que podem assumir qualquer um dos outros tipos. Uma tabela espacial pode ser formada por atributos alfanuméricos definidos como colunas de tipos básicos (VARCHAR, NUMBER) e por uma coluna do tipo espacial. Essa extensão fornece um conjunto de operadores e funções que são utilizados com a linguagem SQL para suportar consultas espaciais. Os operadores topológicos seguem o Modelo de 9-Interseções Dimensionalmente Estendido (ver glossário).

O mecanismo de indexação é o *Grid-File* (ver glossário). O alto desempenho da consulta está relacionado ao fato de ter índices eficientes definidos nas colunas das tabelas base em um banco de dados. Dessa forma, o desempenho da consulta está diretamente relacionado à rapidez com que os valores na coluna podem ser encontrados durante a consulta. Desse modo, as consultas que utilizam um índice podem ser executadas mais rapidamente e podem fornecer uma melhora significativa no desempenho.

As consultas espaciais geralmente são consultas que envolvem duas ou mais dimensões. Por exemplo, em uma consulta espacial, talvez se queira saber se um ponto está incluído em uma área (polígono). Devido à natureza multidimensional de consultas espaciais, a indexação de árvore B nativa do **DB2** é ineficiente para essas consultas. Desse

modo, devem-se utilizar outros mecanismos de indexação para melhorar o desempenho das consultas. O **DB2 Spatial Extender**, além de utilizar o mecanismo de indexação de grades, designada para indexar dados espaciais multidimensionais a colunas espaciais de índice, também fornece um índice de grade, que é otimizado para dados bidimensionais em uma projeção plana da Terra.

A criação de índices melhora o desempenho da consulta de aplicativos, principalmente quando a(s) tabela(s) consultada(s) possui(em) muitas linhas. O **DB2 Spatial Extender** fornece um índice de grade que é otimizado para dados bidimensionais; o índice é criado nas dimensões X e Y de uma geometria.

O **Spatial Extender** gera um índice de grade espacial utilizando o *Minimum Bounding Rectangle* (MBR, ver glossário) de uma geometria. Um índice de grade espacial divide uma região em grades quadradas lógicas com um tamanho fixo que o usuário especifica quando cria o índice. O índice espacial é construído em uma coluna espacial por meio da criação de uma ou mais entradas para as interseções de cada MBR da geometria com as células da grade. Uma entrada de índice consiste no identificador da célula da grade, no MBR da geometria e no identificador interno da linha que contém a geometria.

Com o **DB2 Spatial Extender**, podem-se incluir atributos espaciais nas análises de negócios. A integração permite que os dados espaciais exportem os benefícios de desempenho disponíveis com um DBMS (*Database Management System*). Os principais aspectos de aperfeiçoamentos do **DB2 Spatial Extender** na versão 8 incluem:

- um consultor de índice para ajudar o usuário a projetar índices espaciais eficientes, de maneira mais rápida;
- mais funções espaciais que permitem derivar um escopo mais amplo de informações a partir de seus dados espaciais;
- maior habilidade que as versões anteriores para integrar os *geo-coders* fornecidos pelo usuário e pelo representante em seu ambiente espacial;
- maior habilidade para exportar dados espaciais para os *geo-browsers* do que nas versões anteriores. Os *geo-browsers* permitem verificar os resultados das consultas em um formulário visual;
- habilidade para exportar os dados de transferência SDE para arquivos que podem ser carregados em origens de dados externas.

4.1.2 Informix Spatial Datablade

A IBM também dispõe de uma família de produtos, denominada **Informix Datablade**¹², a qual oferece recursos que facilitam e melhoram o gerenciamento dos dados, estendem a funcionalidade do servidor, proporcionam maior poder de customização, gerenciam conteúdo multimídia com soluções elegantes, proporcionam um ambiente inteligente para aplicações geo-espacial. A tecnologia **IBM Informix DataBlade** visa ajudar a tomada de decisões de maneira mais eficiente e inteligente. O **Informix Datablade** também é um SGBD proprietário e possui módulos que agregam funcionalidades e recursos, entre os quais se destacam: (1) o **DataBlade Developers Kit**, uma interface gráfica fácil de usar para desenvolver módulos do **DataBlade**; (2) o **Geodetic**, que gerencia informações geo-espaciais referenciadas por coordenadas baseadas na latitude e na longitude, apropriado para aplicações e conjuntos de dados globais; (3) o **Image Foudation**, que proporciona uma base em que tipos novos ou específicos de imagem e tecnologias de processamento de imagens podem ser mudadas ou adicionadas rapidamente; (4) o **Spatial**, que proporciona uma tecnologia espacial inovadora através de um *download* sem custo, apropriado para aplicações e conjuntos de dados regionais e locais; (5) o **Video Foudation**, que incorpora tecnologias específicas de vídeo em aplicações de gerenciamento de dados; e (6) o **Web**, que fornece ferramentas, funções e exemplos que facilitam o desenvolvimento de forma inteligente e interativo de aplicações para a Web.

Os módulos do **IBM Informix DataBlade**¹³ não são opções e sim reais extensões do servidor que são integradas no núcleo da “*engine*” (motor), possibilitando funcionalidades para aplicações não paralelas e notável desempenho. Pode-se utilizar um único ou vários módulos **DataBlade** simultaneamente para criar uma solução única e customizada de gerenciamento de informações, conforme a necessidade do usuário. Neste trabalho serão apresentados mais detalhes do módulo **Spatial**.

De acordo com a IBM Software (2007), o módulo **Spatial**¹⁴ do **IBM Informix DataBlade** apresenta todas as características e benefícios significativos do **IBM Informix Dynamic Server** (IDS) para os dados geo-referenciados. O **Datablade Spatial** permite a transformação de dados tradicionais e de dados espaciais em informação importante; desse modo, ajuda as organizações que utilizam esses dados a ganhar uma vantagem sobre o concorrente. Entre as principais funções desse módulo podem-se destacar:

¹² Disponível em: <http://www-306.ibm.com/software/data/informix/>

¹³ Disponível em: <http://www-306.ibm.com/software/data/informix/blades/>

¹⁴ Disponível em: <http://www-306.ibm.com/software/data/informix/blades/spatial/>

- expande o dado objeto-relacional do servidor **IBM IDS** para fornecer tipos de dados espaciais baseados em SQL e funções, produzindo dados que podem ser usados diretamente com as consultas padrões do SQL ou com software do SIG;
- utiliza uma tecnologia espacial inovadora através de um "*download no-charge*" conveniente;
- proporciona um ambiente de negócio inteligente;
- maximiza as potencialidades dos dados espaciais, permitindo decisões de negócio críticas;
- mantém suporte a tipos de dados espaciais;
- apresenta alto desempenho em consultas espaciais e com dados do **IBM IDS**;
- permite o controle inteligente da informação geo-espacial complexa com os dados tradicionais, sem afetar a eficiência do modelo da base de dados relacional;
- tem índice multidimensional da *R-tree* (ver glossário) que visa proporcionar o desempenho das consultas espaciais.

4.1.3 MySQL

O MySQL¹⁵ é um SGBD SQL *Open Source*; é desenvolvido, distribuído e tem suporte da MySQL AB¹⁶. Além disso, pode ser distribuído tanto com uma licença comercial quanto com uma integralmente baseada na GNU/GPL (ver glossário).

A sua extensão espacial foi disponibilizada a partir da versão 4.1.0, lançada em abril de 2003; serão descritos aspectos da versão 4.1 neste trabalho. O MySQL implementa um subconjunto do ambiente SQL com tipos geométricos proposto pela OpenGIS SFSQL. Os dados são armazenados no formato de geometria interna, são convertidos para esse formato a partir dos formatos WKT ou WKB (ver seção 3.3). Esses formatos de dados espaciais são utilizados para representar objetos geométricos em consultas.

De acordo com a MySQL AB (2007), esse SGBD fornece um modo padrão de criar colunas espaciais para tipos de geometria, porém possui a limitação de suportar as colunas espaciais apenas por tabelas MyISAM.

O MySQL fornece um conjunto de funções para realizar operações em dados espaciais. Essas funções podem ser agrupadas em quatro grandes categorias de acordo com o tipo de operação que elas realizam:

¹⁵ Disponível em: <http://dev.mysql.com/doc/refman/4.1/pt>

¹⁶ A MySQL AB é uma empresa comercial, fundada pelos desenvolvedores do MySQL, que visa fornecer serviços relacionados ao SGBD MySQL.

- Funções que convertem geometrias entre vários formatos; temos as seguintes funções para converter valores geométricos entre formatos internos e os formatos WKB e WKT:
 - **GeomFromText**: converte um valor *String* em formato de geometria e retorna um resultado;
 - **GeomFromWKB**: converte um valor binário em formato de geometria e retorna um resultado;
 - **AsText**: converte um valor em geometria em formato WKT e retorna a *String* resultante;
 - **AsBinary**: converte um valor em geometria em formato WKT e retorna o valor binário correspondente.
- Funções que fornecem acesso a propriedades qualitativas ou quantitativas de uma geometria. Cada função que pertence a esse grupo usa um valor de geometria como seu argumento e retorna alguma propriedade quantitativa e qualitativa dessa geometria. Há funções de análise das propriedades de geometria em geral e funções de análise das propriedades para pontos, linhas, multilinhas, polígonos, multipolígonos e coleção de geometria. Seguem algumas funções para exemplificar esse grupo:
 - Funções de análise das propriedades de geometria em geral:
 - **GeometryType**: retorna o nome do tipo da geometria;
 - **Dimension**: retorna a dimensão da geometria;
 - **SRID**: retorna um inteiro indicando o SRID utilizado;
 - **Envelope**: retorna o retângulo mínimo envolvente (MBR).
- Funções que descrevem relações entre duas geometrias (ainda não foram implementadas pelo MySQL, porém o MySQL afirma que, quando elas forem implementadas, fornecerão suporte total para análise espacial, não apenas suporte baseado em MBR);
- Funções que criam novas geometrias de outras existentes, entre as quais podem-se citar:
 - **Envelope**: descrita anteriormente;
 - **StartPoint**: retorna o ponto inicial da linha recebida como parâmetro;
 - **EndPoint**: retorna o ponto final da linha recebida como parâmetro;
 - **ExteriorRing**: retorna o anel exterior do polígono recebido como parâmetro.

As funções de análise espacial podem ser usadas em muitos contextos, tais como: (1) qualquer programa SQL interativo, como MySQL ou MySQLCC; (2) aplicativos escritos em qualquer linguagem suportando uma API do cliente MySQL.

Um índice espacial é construído usando o MBR de uma geometria. O MySQL utiliza a *R-tree* com separação quadrática para indexar colunas espaciais.

Ainda que a implementação da extensão espacial tenha seguido as funcionalidades especificadas na SFSSQL OpenGIS, esta apresenta algumas limitações que prejudicam sua utilização: a extensão espacial só está disponível para o tipo de tabela MyISAM; número muito reduzido de produtos da área de SIG faz interface com MySQL (pouca integração com outros produtos ou componentes de software – bibliotecas de software, servidores de exibição de mapas, exibidores de dados espaciais). Além disso, ainda não implementa recursos SIG, tais como: visões de metadados adicionais, funções para adicionar e apagar colunas espaciais, itens relacionados ao SRS e suas SRIDs – funções como `Length()` e `Area()` assumem um sistemas de coordenadas planas e todos os objetos são, atualmente, considerados como estando no mesmo sistema de coordenadas planas. A função especificada no OpenGIS `Length()` em *LineString* e *MultiLineString*, atualmente, deve ser referenciada como `GLength()` no MySQL, já que causa conflito com a função SQL existente `Length()`.

4.1.4 Oracle Spatial

A *Oracle Corporation* dispõe de vários tipos de SGBDs, visando atender às necessidades de seus clientes. A Oracle¹⁷ provê dois tipos de recursos para manipulação de dados espaciais: o *Oracle Locator* e o *Oracle Spatial*.

De acordo com a ORACLE DATABASE (2007), o **Oracle Locator** é um recurso dos SGBDs – versões Standard Edition, Standard Edition One, e Enterprise Edition; porém é útil somente para aplicações de SIGs mais simples, já que tem um conjunto limitado de funcionalidades espaciais. De maneira geral, ele possui um conjunto de recursos espaciais básicos e limitados; dessa forma, não apresenta recursos, tais como: o referenciamento linear, funções para análises espaciais e transformações de coordenadas espaciais. Os desenvolvedores podem estender as aplicações e ferramentas já existentes baseadas no Oracle, já que com o *Locator* eles podem facilmente incorporar informações de localização diretamente em suas aplicações e serviços. Isso é possível porque a localização dos dados é totalmente integrada no próprio servidor Oracle. Dados geográficos e de localização são manipulados usando a mesma semântica aplicada aos tipos CHAR, DATE e INTEGER, que são familiares a todos os usuários de SQL.

Já o **Oracle 10g Spatial**, que é uma opção somente do SGBD *Enterprise Edition* (ver glossário), estende as funcionalidades do *Oracle Locator*, atendendo às necessidades de aplicações avançadas dos SIGs, tais como gerenciamento de áreas territoriais,

¹⁷ Disponível em: <http://www.oracle.com/technology/products/spatial/index.html>

utilidades, e segurança interna de estados e países. Inclui o suporte para todos os tipos e modelos geo-espaciais de dados, incluindo o vetor e os dados da quadriculação, topologia e modelos da rede. Essa extensão espacial é baseada na SFSSQL OpenGIS, embora não mantenha concordância com a nomenclatura original das funções e procedimentos. O **Oracle 10g Spatial** é uma solução bastante completa para trabalhar com aplicações SIGs, já que possui um conjunto de funcionalidades e recursos que permitem armazenar, manipular e consultar dados espaciais de representação vetorial em um banco de dados Oracle.

Segundo modelo de dados dessa extensão, como ilustrado na figura 4.1, é formado por uma estrutura hierárquica de elementos, geometrias e planos de informação (*layers*). Os planos são formados por um conjunto de geometrias que possuem os mesmos atributos (tabela com uma coluna geométrica). Já as geometrias são formadas por um conjunto de elementos, podendo ser de um dos tipos como mostra a figura 4.3.

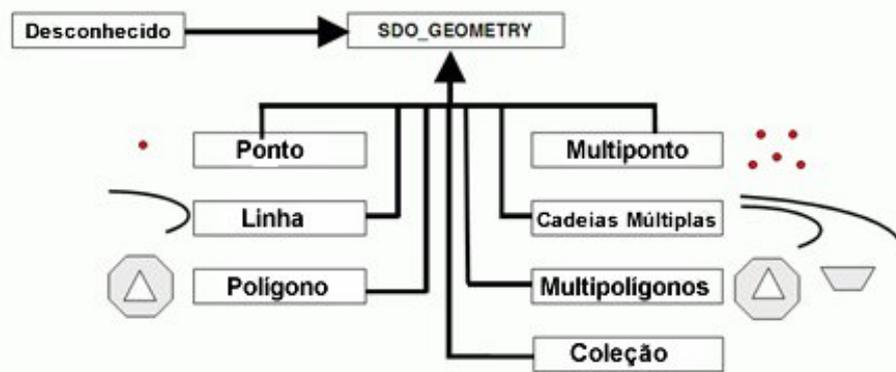


Figura 4.3 – Modelo de Geometria do Oracle Spatial (adaptado de QUEIROZ, 2004)

Finalmente, os elementos são formados por tipos geométricos primitivos, conforme a figura 4.4. Esses elementos representam o nível mais baixo dessa hierarquia de Modelo de Dados.



Figura 4.4 – Tipos primitivos do Oracle Spatial (adaptado de QUEIROZ, 2004)

Como o *Oracle Spatial* é baseado no modelo objeto-relacional, ele define um tipo de objeto para representar os dados espaciais, denominado **SDO_GEOMETRY**. Esse objeto compreende a geometria em si, suas coordenadas e informações sobre seu tipo e projeção. Em uma tabela espacial, os atributos alfanuméricos da geometria são definidos como colunas de tipos básicos (VARCHAR2, NUMBER etc.), e a geometria, como uma coluna do tipo **SDO_GEOMETRY**. Sendo assim, nessa tabela espacial, cada instância da geometria é armazenada em uma linha, e o conjunto de todas as geometrias de uma mesma tabela formam um plano.

O *Oracle Spatial* oferece um conjunto de operadores e funções espaciais, que são utilizados juntamente com a linguagem SQL, para suportar consultas espaciais. Por exemplo, para consultar relações topológicas entre duas geometrias, utiliza-se um operador denominado **SDO_RELATE**¹⁸. O **SDO_RELATE** recebe como parâmetro o tipo de relação topológica que deve ser computada. Os possíveis parâmetros são: **Equal**, **Disjoint**, **Touch**, **Inside**, **OverlapBdyIntersect**, **OverlapBdyDisjoint**, **Anyinteract**, **Contains**, **On**, **Covers** e **Coveredby**. Para realizar consultas de relações espaciais, podem-se utilizar outros operadores, além do **SDO_RELATIVE**, tais como: **SDO_FILTER** (verifica se há interação entre os mínimos retângulos envolventes), **SDO_WITHIN_DISTANCE** (verifica se duas geometrias estão a uma determinada distância, recebida como parâmetro), **SDO_NN** (verifica **n** vizinhos mais próximos de uma geometria). Já entre as funções, pode-se citar, por exemplo: **SDO_BUFFER** (gera uma nova geometria em volta ou dentro de uma outra, conforme uma distância passada como parâmetro), **SDO_AREA** (calcula a área de uma geometria), **SDO_LENGTH** (calcula o perímetro ou comprimento de uma geometria).

Quanto à indexação espacial, essa extensão oferece dois tipos de índices: *R-tree* e *Quad-tree* (ver glossário). Cada um desses índices é apropriado para diferentes situações e pode ser usado simultaneamente para indexar uma mesma coluna geométrica, porém a Oracle recomenda fortemente o uso do *R-tree*, ao invés de *Quad-tree*, por questões de desempenho (CÂMARA *et al.*, 2005).

4.1.5 PostGIS

O **PostgreSQL**¹⁹ é um SGBD-OR, distribuído gratuitamente sob licença BSD (ver glossário) e de código fonte aberto. Embora esse SGBD tenha suporte nativo a dados espaciais, esses recursos são muito limitados e ineficientes para o desenvolvimento de SIG.

¹⁸ Esse operador implementa o Modelo de 9-Interseções definido por Egenhofer.

¹⁹ Disponível em: <http://www.postgresql.org>

Uma das principais características do **PostgreSQL** é ser extremamente modular, o que facilita a implementação de novas funcionalidades; nesse contexto foi desenvolvido o módulo **PostGIS**²⁰, que apresenta várias funcionalidades auxiliaadoras no desenvolvimento de aplicações SIGs.

De maneira geral, podemos dizer que o **PostGIS** é uma extensão geográfica desenvolvida pela empresa *Refractions Research Inc.*, distribuída gratuitamente sob licença GNU/GPL, de código aberto – que adiciona entidades geográficas ao **PostgreSQL**, visando gerenciar informações geo-espaciais nesse SGBD. Atualmente, encontra-se na versão 1.2.1. A definição e a implementação dessa extensão são baseadas na SFSSQL OpenGIS. Além do armazenamento e manipulação de dados espaciais, essa extensão também tem suporte para diversas funcionalidades topológicas (a topologia também faz parte da SFSSQL), possibilitando o desenvolvimento de SIGs corporativos. Dessa forma, há interoperabilidade com outros sistemas, que também se baseiam nessa especificação.

De acordo com o PostGIS (2007), essa extensão possui um certificado que atende a todos os tipos e funções propostas pela SFSSQL OpenGIS. O **PostGIS** suporta as características simples e a representação de APIs (interface entre o computador e os programas do usuário), porém não suporta os operadores de comparação e convolução (é uma técnica de processamento de imagens) definidos pela especificação de implementação de feições para SQL OpenGIS.

O **PostGIS** suporta os objetos espaciais como: ponto (*Point*), linha (*LineString*), polígono (*Polygon*), multiponto (*MultiPoint*), multilinhas (*MultiLineString*), multipolígono (*MultiPolygon*), coleção de geometria (*GeometryCollection*). Para que essa extensão fique compatível com o padrão OpenGIS (OGC), além de utilizar as funções e especificações abstratas, esse consórcio orienta que o banco de dados deve ter duas tabelas de metadados: (1) para armazenar a descrição das feições dos dados espaciais, denominada **GEOMETRY_COLUMNS**; e (2) outra para carregar os identificadores numéricos e descrições textuais de sistemas de coordenadas utilizadas no banco de dados espacial, denominada **SPATIAL_REF_SYS**.

4.1.5.1 Tabela de Sistemas de Referências Espacial (SPATIAL_REF_SYS)

A definição da tabela **SPATIAL_REF_SYS** é como segue na tabela 4.2:

²⁰ Disponível em: <http://postgis.refractions.net/>

Tabela 4.2 – Tabela de metadados das tabelas com colunas espaciais (CÂMARA *et al.*, 2005)

<i>spatial_ref_sys</i>		
Attribute	Type	Modifier
srid	INTEGER	PK
auth_name	VARCHAR(256)	
auth_srid	INTEGER	
srttext	VARCHAR(2048)	
proj4text	VARCHAR(2048)	

Como se pode observar, essa tabela apresenta as seguintes colunas:

- **SRID:** representado por um valor inteiro que exclusivamente identifica o SRS dentro do banco de dados;
- **AUTH_NAME:** o nome do padrão ou corpo de padrões que estão sendo citados para determinado SRS. Por exemplo, "EPSG" seria um AUTH_NAME válido;
- **AUTH_SRID:** representa o SRID como definido pela autoridade citada no AUTH_NAME. No caso de EPSG, é onde o código de projeção EPSG ficaria;
- **SRTEXT:** representação de WKT do SRS. Segue ilustração de um exemplo de uma representação WKT SRS:

```

PROJCS["NAD83 / UTM Zone 10N",
  GEOGCS["NAD83",
    DATUM["North_American_Datum_1983",
      SPHEROID["GRS 1980",6378137,298.257222101]
    ],
    PRIMEM["Greenwich",0],
    UNIT["degree",0.0174532925199433]
  ],
  PROJECTION["Transverse_Mercator"],
  PARAMETER["latitude_of_origin",0],
  PARAMETER["central_meridian",-123],
  PARAMETER["scale_factor",0.9996],
  PARAMETER["false_easting",500000],
  PARAMETER["false_northing",0],
  UNIT["metre",1]
]

```

- **PROJ4TEXT:** o PostGIS utiliza a biblioteca Proj4 para fornecer potencialidades de transformação de coordenadas. A coluna de

PROJ4TEXT contém a *string* de definição de coordenada Proj4 para um SRID particular. Por exemplo:

```
+proj=utm +zone=10 +ellps=clrk66 +datum=NAD27 +units=m
```

4.1.5.2. Tabela de Colunas Geométricas (GEOMETRY_COLUMNS)

A definição de Tabela GEOMETRY_COLUMNS é como segue na tabela 4.3:

Tabela 4.3 – Tabela de metadados do sistema de coordenadas (CÂMARA *et al.*, 2005)

<i>geometry_columns</i>		
Attribute	Type	Modifier
f_table_catalog	VARCHAR(256)	PK
f_table_schema	VARCHAR(256)	PK
f_table_name	VARCHAR(256)	PK
f_geometry_column	VARCHAR(256)	PK
coord_dimension	INTEGER	
srid	INTEGER	FK
type	VARCHAR(30)	

Como se pode observar, essa tabela possui as seguintes colunas:

- **F_TABLE_CATALOG, F_TABLE_SCHEMA, F_TABLE_NAME:** Nome completamente qualificado da característica tabela contendo a coluna geométrica. Note que as condições "*catalog*" e "*schema*" são Oracle-ish. Não existe análogo de "*catalog*" PostgreSQL, de forma que a coluna é espaço em branco à esquerda - para "*schema*" o nome de banco de dados PostgreSQL é usado. (*public* é o *default*).
- **F_GEOMETRY_COLUMN:** nome da coluna geométrica na tabela característica.
- **COORD_DIMENSION:** Dimensão de espaço (2, 3 ou 4 dimensional) da coluna.
- **SRID:** usado para a coordenada geométrica nessa tabela. É uma chave de referência estrangeira para o SPATIAL_REF_SYS.
- **TYPE:** tipo do objeto espacial. Restringir a coluna espacial a um único tipo, por exemplo: POINT, LINestring, POLYGON, MULTIPOINT, MULTIPOLYGON, GEOMETRYCOLLECTION; ou correspondentes versões XYM: LINestringM, POLYGONM, MULTIPOINTM,

GEOMETRYCOLLECTIONM. Para coleções heterogêneas (*mixed-type*), pode-se usar "GEOMETRY" como tipo. Vale ressaltar que esse atributo não é parte da OpenGIS SFSQL, mas é requerido para homogeneidade de tipo assegurado.

4.1.5.3 Operadores espaciais

Essa extensão disponibiliza muitos operadores espaciais, entre os quais podem-se citar:

- operadores topológicos: *equals*, *disjoint*, *intersects*, *touches*, *crosses*, *within*, *overlaps*, *contains*, *relate*;
- operadores de construção de mapas de distância: *buffer*;
- operador para construção de fecho convexo: *convexhull*;
- operadores de conjunto: *intersection*, *geomUnion*, *symdifference*, *difference*;
- operadores métricos: *distance*, *area*;
- centróide de geometrias: *centroid*;
- validação (faz a verificação se a geometria tem auto-intersecções): *isSimple*.

A utilização desses operadores é realizada através da integração do PostGIS com a biblioteca GEOS (*Geometry Engine Open Source*). Essa biblioteca é uma tradução da API Java JTS para a linguagem C++.

Os dados são armazenados no formato de geometria interna, que inclui um SRID (que é requerido ao criar objetos espaciais para a inserção no banco de dados). Desse modo, os dados são convertidos para esse formato a partir dos formatos WKT ou WKB. Esses formatos de dados espaciais são utilizados para representar objetos geométricos em consultas e incluem informação sobre o tipo do objeto bem como as coordenadas que formam o objeto. Segundo CÂMARA *et al.* (2005), as versões mais recentes, como o **PostGIS**, utilizam o formato binário (WKB) do OpenGIS como o padrão nas consultas.

O **PostGIS** implementa o método de indexação *R-tree* sobre a indexação GiST, *Generalized Search Tree* (ver glossário) nativa do PostgreSQL. De acordo com CÂMARA *et al.* (2005), o PostgreSQL possui quatro tipos de indexação (*B-tree*, *R-tree*, GiST e HASH), a *R-tree* não possui a robustez necessária para as aplicações SIG, já que a implementação da *R-tree* nativa dispõe de uma severa limitação em seu uso; desse modo, uma coluna do tipo polígono não pode exceder 8Kbytes. Na prática, é muito comum um SIG manipular dados representados, por exemplo, por polígonos maiores do 8Kbytes cada, o que torna o uso desse índice inviável.

4.2 Resumo das extensões espaciais

Nas seções anteriores foram descritas as principais características e particularidades de cada extensão espacial. Segue uma tabela resumo (tabela 4.4), comparando algumas características das extensões espaciais.

Tabela 4.4 – Resumo das características das extensões espaciais

Aspectos importantes	<i>Spatial Extender</i>	<i>Spatial Datablade</i>	MySQL	<i>Oracle Spatial</i>	PostGIS
Fabricante	IBM	IBM	MySQL AB	Oracle Corporation	Refractions Research Inc.
Versão analisada	8.2	Não especificada	4.1	10g	1.2.2
Tipo de licença	Proprietária	Proprietária	GNU/GPL	Proprietária	GNU/GPL
Requisitos de SGBD	IBM DB2 UDB	IBM IDS	MySQL	Oracle Enterprise Edition	PostgreSQL
Bibliotecas de software, componentes	Não	Não	Não	Não	GEOS, Proj4
Tabela de metadados	Sim	Não especificada	Não	Sim	Sim
Dimensões suportadas	2, 3 e 4	Não especificadas	2	2, 3 e 4	2, 3 e 4
Métodos de suporte à análise de dados espaciais	Sim	Não especificados	Sim	Sim	Sim
Suporte a dados geodésicos	Sim	Sim	Não	Sim	Não
Transformação de sistema de coordenadas	Sim	Não especificada	Não	Sim	Sim
Mecanismo de indexação espacial	<i>Grid-File</i>	Multidimensional da <i>R-tree</i>	<i>R-tree</i> com separação quadrática	<i>R-tree</i> e <i>Quad-tree</i>	<i>R-tree</i> sobre a indexação GiST
Suporte aos objetos espaciais da SFSSQL OpenGIS	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Baseada na SFSSQL OpenGIS	Sim	Não especificado	Sim	Sim	Sim

Como se pode notar, as extensões espaciais apresentam semelhanças, além disso todas se baseiam na SFSSQL OpenGIS e visam dar suporte aos dados espaciais. A escolha por uma dessas extensões varia de acordo com a aplicação e com as necessidades da mesma.

No próximo capítulo, será apresentado um estudo de caso em que se analisará o contexto da aplicação atual dos Projetos Observatório e Mapeamento da Rede Sócio-Assistencial à Infância e Juventude de Juiz de Fora, procurando verificar se há necessidade de substituir o SGBD e sua extensão espacial (PostgreSQL/PostGIS) por outro SGBD e outra extensão espacial. Serão demonstrados os principais passos para construção do banco de dados com os dados espaciais; além disso, será apresentado como a extensão espacial PostGIS oferece o suporte a esses dados espaciais, por exemplo: as tabelas `GEOMETRY_COLUMNS` e `SPATIAL_REF_SYS` com suas respectivas colunas características; os tipos geométricos utilizados para representar as instituições, ruas, bairros e regiões; o carregador de dados (`shp2pgsql`) que facilita a construção e alimentação das tabelas com dados espaciais.

Capítulo 5

ESTUDO DE CASO: Mapeamento e Observatório da Rede de Atendimento Sócio-Assistencial à Infância e Juventude de Juiz de Fora

O Projeto do Mapeamento da Rede de Atendimento Sócio-Assistencial à Infância e Juventude de Juiz de Fora visa produzir um conjunto de informações precisas e qualificadas sobre a rede sócio-assistencial no nosso município, possibilitando, dessa forma, uma avaliação da política de atendimento à criança e ao adolescente, tendo como referência os cinco direitos fundamentais estabelecidos no Estatuto da Criança e Adolescente (ECA). Desse modo, foi desenvolvido um *website*²¹, onde essas informações possam ser acessadas de forma pública e democrática por pessoas que se interessem pelo assunto.

De início foram desenvolvidos questionários para serem aplicados às instituições que atendem ao público alvo deste projeto – crianças e adolescentes. Em paralelo à aplicação desses questionários, foram implementados questionários informatizados, digitalizando as informações descritivas coletadas e associando essas informações a dados espacialmente referenciados; assim, criou-se um banco de dados geo-referenciado.

Após a edição e retificações dos dados das instituições, o *website* foi desenvolvido e disponibilizado ao público. Estão disponíveis funcionalidades como estatísticas, consultas às informações sobre as instituições e visualização da localização das instituições no mapa de Juiz de Fora, entre outras.

Concluído o processo anteriormente citado, o projeto evoluiu para sua segunda fase, denominada Observatório. Nessa fase, ampliou-se a pesquisa para as instituições que compõem a rede assistencial da cidade, possibilitando uma abrangência do projeto de Mapeamento. Assim como no Mapeamento, o Observatório passou pela elaboração e aplicação de questionários às instituições e pela construção de um banco de dados geo-referenciado. As informações também foram disponibilizadas no *website*, como se fez na fase de Mapeamento.

Em seguida será apresentada a funcionalidade que atualmente²² está relacionada com o SIG no *website*, que é o **link Consulta**. Esse *link* permite consultas aos dados

²¹ Disponível em <http://www.mapeamento.ufjf.br>

²² Posteriormente, pretende-se relacionar outras funcionalidades do *website* com o banco de dados geográfico, entre as quais: estatísticas (construção dinâmica de mapas temáticos).

descritivos das instituições, bem como o posicionamento das mesmas no mapa da cidade de Juiz de Fora.

As consultas são realizadas de acordo com as necessidades do usuário, e isso é possível através dos filtros, conforme a figura 5.1.

Observatório > Consulta

Consulta

Busca por Nome:

Público Atendido: Crianças Jovens Adultos Idosos

Tipo de Financiamento: Fundo Público Recursos Privados
 Contribuição de Usuários Outros

Situação do Espaço Físico: -- Selecione --

Bairro: -- Selecione --

Região: -- Selecione --

Razão Social: -- Selecione --

Tipo de trabalho: -- Selecione --

Capacidade de Atendimento: a

Inscrito no CMCDA: -- Selecione --

Inscrito no CMAS: -- Selecione --

Figura 5.1 – Link Consulta

- Após escolher as opções de filtragem, devem-se submeter os filtros à pesquisa; o resultado é apresentado em uma página, conforme a figura 5.2.

Vale ressaltar que as opções de filtro que não forem selecionadas não restringem a pesquisa, ou seja, as restrições que seriam impostas pelo filtro são desconsideradas na consulta ao banco de dados. Por exemplo, na pesquisa realizada de modo a ilustrar essa funcionalidade (figura 5.1), não foram selecionadas opções de filtragem; desse modo, o resultado apresentado na figura 5.2 mostra todas as instituições cadastradas no projeto Observatório.

Observatório > Consulta

Resultado da Consulta

Total: 15 instituições
[Ver todas instituições no Mapa](#)

Assistência Social Nossa Senhora da Glória	[exibir][ver no mapa]
Ambulatório São Martinho de Lima	[exibir][ver no mapa]
Associação dos Hemofílicos	[exibir][ver no mapa]
Associação dos Diabéticos	[exibir][ver no mapa]
Sociedade São Vicente de Paulo	[exibir][ver no mapa]
Associação dos surdos	[exibir][ver no mapa]
CDINFO - Comitê para democratização da informática	[exibir][ver no mapa]
Pastoral da Juventude	[exibir][ver no mapa]
Catedral Metropolitana de Juiz de Fora	[exibir][ver no mapa]
Escola Estadual Maria das Dores de Souza	[exibir][ver no mapa]
Franciscanos Missionárias de São Pascoal	[exibir][ver no mapa]
Centro de convivência entre nós	[exibir][ver no mapa]
Centro de Acolhimento à Infância e Juventude	[exibir][ver no mapa]
Serviço de Atenção à Saúde do Adolescente- SASAD	[exibir][ver no mapa]
Instituto Médico Psicopedagógico	[exibir][ver no mapa]

Figura 5.2 – Página de resultado da consulta

Há três maneiras de continuar a consulta a partir dessa página ilustrada anteriormente, figura 5.2:

1. pode-se visualizar todas as instituições que foram encontradas no mapa, conforme figura 5.3, clicando no *link* **ver todas as instituições no Mapa**;

http://www.mapeamento.ufjf.br - Observatório - Mozilla Firefox

Regiões

Sul	Noroeste
Sudeste	Nordeste
Oeste	Leste
Norte	Centro

Fator de Zoom: 2x

Regiões
 Bairros

Obs.: para visualizar as informações das instituições, clique sobre a bolinha vermelha correspondente no mapa.

Concluído

Figura 5.3 – Visualização no mapa de todas as instituições retornadas na consulta

2. pode-se visualizar os dados descritivos de determinada instituição, conforme a figura 5.4, clicando no *link* **exibir**;

I. Dados Gerais

- 1. Nome da Instituição:** Assistência Social Nossa Senhora da Glória
- 2. Endereço**
Rua/Av.: Senador Feliciano Pena / **Número:** 184 / **Complemento:**
Bairro: Mariano Procópio / **CEP:** 36080-030
- 3. Região:** Centro
- 4. Telefones:** - 3215-9698
Fax:
- 5. Correio Eletrônico:**
- 6. Página Web:** <http://>
- 7. Horário de Funcionamento:** De 07:30 às 17:30
- 8. Data de Fundação:** 04/10/1953

II. Caracterização Geral do Atendimento

- 9. Tipo de Atendimento:** - Saúde - Educação Formal - Esporte, Cultura e Lazer
- 10. Objetivos da Instituição:** Atendimento às comunidades carentes com programas de saúde, educação, projetos sociais, esportivos e culturais.
- 11. Público Atendido:** - Jovens - Adultos - Idosos
- 12. Situação do espaço físico:** Próprio
- 13. Qualidade dos equipamentos e infra-estrutura existentes:** Bons
- 14. Capacidade de atendimento:** 1200

Figura 5.4 – Visualização de parte dos dados da instituição Assistência Social Nossa Senhora da Glória

3. pode-se visualizar determinada instituição no mapa, conforme na figura 5.5, clicando no *link* **ver no mapa**.

http://www.mapeamento.ufjf.br - Observatório - Mozilla Firefox

SANTA TERESINHA Avenida Brasil

FABRICA

Nome: Assistência Social Nossa Senhora da Glória
Endereço: Senador Feliciano Pena, 184
Telefone: 3215-9698
Horário de Funcionamento: 07:30 às 17:30
Público Atendido: [Jovens] [Adultos] [Idosos]
Tipo de Atendimento: [Saúde] [Educação Formal] [Esporte, Cultura e Lazer]
Razão Social: Privada

Regiões

Sul	Noroeste
Sudeste	Nordeste
Oeste	Leste
Norte	Centro

Fator de Zoom: 2x

Regiões
 Bairros

Lat: -21° 44' 45"
Long: -43° 21' 39"

Obs.: para visualizar as informações das instituições, clique sobre a bolinha vermelha correspondente no mapa.

http://www.mapeamento.ufjf.br/obs/mapaobs.php?cod_inst=30#

Figura 5.5 – Visualização no mapa da instituição Assistência Social Nossa Senhora da Glória

5.1 Ferramentas e recursos utilizados

O servidor que armazena os arquivos dos projetos executa sobre o sistema operacional *Linux* (Distribuição Ubuntu²³). Foi configurado de modo a suportar os recursos para utilização de geo-tecnologias, como para visualização das informações propostas no *website*, por exemplo.

Utiliza-se o Mapserver²⁴ como servidor de mapas, ou seja, um ambiente de desenvolvimento para construção de aplicações geo-referenciadas na *Web*. Ele fornece diversas funcionalidades para pesquisa e visualização de SIGs armazenados no banco de dados PostgreSQL²⁵. As customizações de interface (ou seja, a visualização do mapa) são otimizadas utilizando recursos dinâmicos como JavaScript e PHP MapScript²⁶.

Como SGBD utiliza-se o PostgreSQL, um SGBD objeto relacional *open source* que oferece suporte ao SIG. PostGIS²⁷ é uma extensão ao PostgreSQL, que permite o armazenamento de objetos SIG em banco de dados. PostGIS inclui suporte para índices GiST-*based*, índices espaciais R-*Tree*, e funções para análise básica e processamento de objetos SIG; ou seja, o PostGIS é um módulo que adiciona entidades geográficas ao PostgreSQL que contém muitas funcionalidades para o desenvolvimento de aplicações que tratam a geo-informação.

Para a modelagem e a geração de *scripts* para criação da estrutura do banco de dados, utiliza-se a ferramenta CaseStudio 2²⁸, que é o software que auxilia a modelagem de bancos de dados por Diagramas Entidade-Relacionamento (DER) e de fluxo de dados (através desses diagramas são gerados os *scripts* SQL para o PostgreSQL).

Para implementação dos formulários, utiliza-se a linguagem PHP, que é uma linguagem de programação de computadores interpretada, livre e muito utilizada para gerar conteúdo dinâmico na *Web*. É uma linguagem de fácil aprendizado e de uso para pequenos *scripts*, dinâmicos e simples. Os formulários são desenvolvidos de tal forma que geram dados padronizados no banco de dados. Isso possibilita que o resultado das consultas realizadas no *website* seja satisfatório, eficiente e, principalmente, correto. Há uma área de edição de dados dos formulários para que a base de dados seja sempre atualizada. Utiliza-se também AJAX (*Asynchronous Javascript and XML*), que é uma maneira rápida e

²³ Disponível em: <http://www.ubuntu.com>

²⁴ Disponível em: <http://mapserver.gis.umn.edu>

²⁵ Disponível em: <http://www.postgresql.org>

²⁶ Disponível em: http://www.maptools.org/php_mapscript

²⁷ Disponível em: <http://postgis.refrains.net/docs>

²⁸ Disponível em: <http://www.casestudio.com/enu/default.aspx>

otimizada de realizar requisições Web, sem recarregar a página por inteiro, de forma que esta fica totalmente transparente ao usuário.

Adicionou-se uma biblioteca do PHP, chamada JpGraph²⁹, que permite a apresentação dos dados em forma de gráficos. Essa biblioteca oferece uma maneira fácil de criar gráficos e suporta todas as simbologias comuns a esse tipo de aplicação. Além disso, permite a produção de gráficos como imagens (PNG ou JPEG) ou como arquivos PostScript (ou *Encapsulated PostScript*). Inclui, também, uma aplicação que permite a criação de gráficos diretamente ligados à base de dados.

5.2 Passos do processo de construção de um banco de dados georeferenciado

Como se viu anteriormente, são necessários vários recursos e softwares para implementar os recursos oferecidos no *website* dos projetos. Neste trabalho, a ênfase recairá no SGBD e à sua extensão espacial. A seguir, apresentam-se, de forma resumida, algumas etapas de como é realizado o processo de geo-referenciamento das instituições, desde a modelagem e criação do banco de dados, implementação dos formulários de inserção de dados, até a implementação das funcionalidades oferecidas no *website* e visualização no mapa.

5.2.1 Primeiro passo: modelagem do banco de dados

Esta modelagem resulta um DER (dos dados convencionais) na ferramenta CaseStudio 2, a partir dos formulários que são aplicados na pesquisa de campo, conforme mostrado nos Anexos A e B.

5.2.2 Segundo passo: criação do banco de dados

O banco de dados é criado a partir da modelagem e dos *shapes* (ver glossário) fornecidos. Os *scripts* para criação da estrutura do banco de dados são gerados a partir da ferramenta CaseStudio 2. Vale lembrar que no caso desses projetos tanto as tabelas espaciais quanto os dados espaciais são fornecidos pelo *shape*; desse modo, desenvolve-se somente a modelagem dos dados convencionais.

Apresenta-se, na seqüência, a realização de cada etapa da entrada de dados no SGBD. Os dados descritivos são advindos dos formulários disponibilizados; já os *scripts* de criação das tabelas geográficas e os dados espaciais são advindos dos *shapes* fornecidos. Utilizando um carregador de dados – shp2pgsql (ver glossário) – que é um aplicativo do PostGIS/PostgreSQL, o *shape* fornece os *scripts* de criação das tabelas geográficas e também os dados espaciais.

²⁹ Disponível em: <http://www.aditus.nu/jpgraph>

No caso destes projetos, os dados descritivos estão relacionados com o endereçamento, que é uma tabela com colunas geométricas que armazenam os dados espaciais. O código do endereço é chave estrangeira na tabela com os dados descritivos, conforme ilustrado na figura 5.6.

phpPgGIS :: Administration Tool for PostGIS :: PostgreSQL :: mapeamento :: public :: instituicao								
Colunas	Índices	Restrição	Gatilhos	Regras	Info	Privilégios	Importar	Exportar
Nome	Definição							
instituicao_codigo_abrigo_fkey	FOREIGN KEY (codigo_abrigo) REFERENCES abrigo(codigo) ON UPDATE CASCADE ON DELETE RESTRIC							
instituicao_codigo_bairro_fkey	FOREIGN KEY (codigo_bairro) REFERENCES bairro(codigo) ON UPDATE CASCADE ON DELETE RESTRIC							
instituicao_codigo_creche_fkey	FOREIGN KEY (codigo_creche) REFERENCES creche(codigo) ON UPDATE CASCADE ON DELETE RESTRIC							
instituicao_codigo_cultura_fkey	FOREIGN KEY (codigo_cultura) REFERENCES cultura(codigo) ON UPDATE CASCADE ON DELETE RESTRIC							
instituicao_codigo_dependencia_quimica_fkey	FOREIGN KEY (codigo_dependencia_quimica) REFERENCES dependencia_quimica(codigo) ON UPDATE CASCADE ON DELETE RESTRIC							
instituicao_codigo_desnutricao_fkey	FOREIGN KEY (codigo_desnutricao) REFERENCES desnutricao(codigo) ON UPDATE CASCADE ON DELETE RESTRIC							
instituicao_codigo_educacao_formal_fkey	FOREIGN KEY (codigo_educacao_formal) REFERENCES educacao_formal(codigo) ON UPDATE CASCADE ON DELETE RESTRIC							
instituicao_codigo_educacao_trabalho_fkey	FOREIGN KEY (codigo_educacao_trabalho) REFERENCES educacao_trabalho(codigo) ON UPDATE CASCADE ON DELETE RESTRIC							
instituicao_codigo_endereco_fkey	FOREIGN KEY (codigo_endereco) REFERENCES enderecamento(gid) ON UPDATE CASCADE ON DELETE RESTRIC							

Figura 5.6 – Modo de relacionamento entre as tabelas descritivas e as espaciais

5.2.3 Terceiro passo: implementação dos formulários

Nessa etapa, realiza-se o geo-referenciamento da instituição, através do campo rua e número. Como já se tem posse de todos os dados de endereçamento devidamente carregados no banco de dados (conforme descrito no segundo passo), nessa etapa realiza-se a ligação entre a instituição e o endereçamento. O formulário é disponibilizado em uma área administrativa e restrita, a tela inicial é ilustrada na figura 5.7.

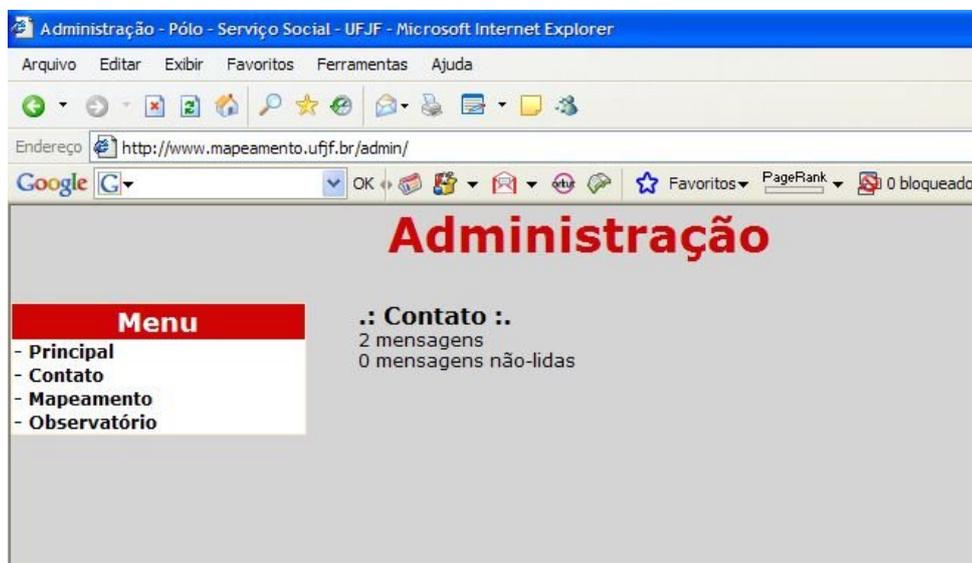


Figura 5.7 – Tela inicial da área administrativa

A tela inicial da parte do Observatório é ilustrada na figura 5.8, proporciona a inserção, edição e exibição das instituições.

Observatório

[\[adicionar instituição\]](#)

Nome da Instituição	Ações
Ambulatório São Martinho de Lima	[editar] [exibir]
Assistência Social Nossa Senhora da Glória	[editar] [exibir]
Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais (APAE)	[editar] [exibir]
Associação dos Diabéticos	[editar] [exibir]
Associação dos Hemofílicos	[editar] [exibir]
Associação dos surdos	[editar] [exibir]
Associação Educacional Quintal Mágico	[editar] [exibir]
Catedral Metropolitana de Juiz de Fora	[editar] [exibir]
CDINFO - Comitê para democratização da informática	[editar] [exibir]
Centro de Acolhimento à Infância e Juventude	[editar] [exibir]
Centro de Apoio e solidaried'aids - Grupo Casa	[editar] [exibir]
Centro de convivência entre nós	[editar] [exibir]
CERNE	[editar] [exibir]
CPA (Centro de psicologia aplicada)	[editar] [exibir]
Escola Estadual Maria das Dores de Souza	[editar] [exibir]
Franciscanos Missionárias de São Pascoal	[editar] [exibir]
Fórum da Cultura	[editar] [exibir]

Figura 5.8 – Área de inclusão e edição de instituições

Há no formulário dois campos, rua e número, carregados diretamente do banco de dados, que realizam o geo-referenciamento das instituições, conforme a figura 5.9.

I. Dados Gerais

1. Nome da Instituição:

2. Endereço

Rua/Av.: - Nº.: (182) - **Selecione a Rua -**

Rua/Av.:

Número: **Complemento:**

Bairro: **CEP:** (99999-999)

3. Região:

Centro
 Norte
 Sul
 Leste
 Oeste
 Noroeste
 Nordeste
 Sudoeste
 Sudeste

4. Telefone:

Fax:

Figura 5.9 – Parte do formulário de edição de dados das instituições

5.2.4 Quarto passo: implementação das funcionalidades do mapa

Nesse passo são implementadas as funcionalidades relacionadas ao mapa e ao modo de exibição dos dados no mapa (ver figura 5.3 e figura 5.5). O mapa é implementado de modo a ser gerado dinamicamente através da interpretação dos dados do SGBD.

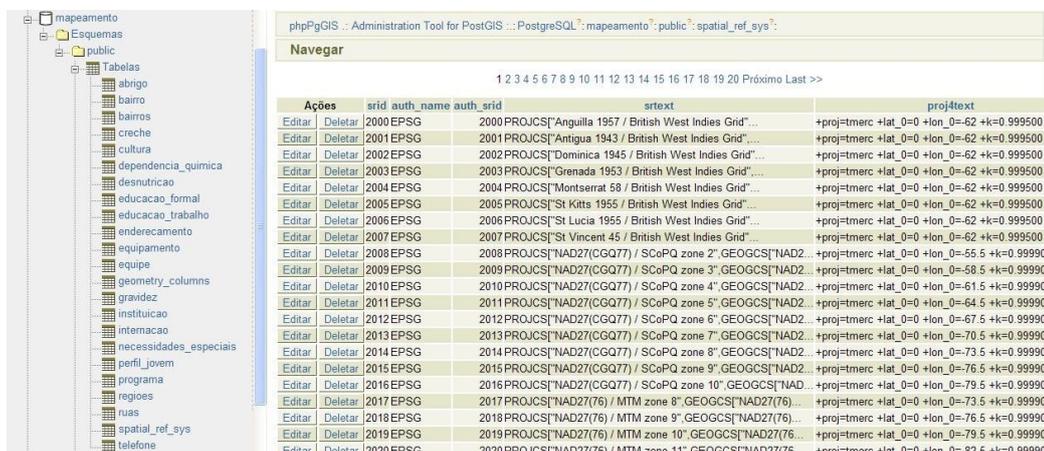
Há outra forma de gerar o mapa sem ser necessário gerá-lo diretamente do SGBD. Isso pode ser feito utilizando *shape* como uma camada para compor o mapa; ou seja, implementa-se a geração do mapa com camadas. Porém, esse processo provoca morosidade na geração do mapa e, em alguns casos, deixa-o com limitações quando, por exemplo, na etapa de atualização de algum dado que está presente na camada. Dessa forma, esse processo deixa o mapa mais estático, já que as informações da camada não estão vinculadas a dados no SGBD; por exemplo, se as instituições forem plotadas diretamente na camada, quando se atualiza um novo endereço, este não é dinamicamente modificado no mapa, necessitando editar essa informação também na camada (*shape*): nesse caso as informações de endereçamento não estão referenciadas espacialmente.

5.2.5 Quinto passo: implementação das funcionalidades do website

As funcionalidades implementadas no *website* são: filtros de pesquisa (ver figura 5.1), exibição dos dados das instituições (ver figura 5.4), entre outros.

5.3 Extensão PostGIS

A seguir serão apresentadas as tabelas espaciais (**SPATIAL_REF_SYS** e **GEOMETRY_COLUMNS**), o recurso phpPgGIS, os tipos de geometria que são utilizados no projeto e exemplos de consultas que são possíveis graças à utilização da extensão espacial que possibilita a manipulação dos dados espaciais. Como se apresentou anteriormente, o PostGIS dispõe de duas tabelas de metadados: **SPATIAL_REF_SYS** (figura 5.10) e **GEOMETRY_COLUMNS** (figura 5.11)



Ações	srid	auth_name	auth_srid	srtext	proj4text
Editar Deletar	2000	EPSG	2000	PROJCS["Anguilla 1957 / British West Indies Grid",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-62 +k=0 999500
Editar Deletar	2001	EPSG	2001	PROJCS["Antigua 1943 / British West Indies Grid",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-62 +k=0 999500
Editar Deletar	2002	EPSG	2002	PROJCS["Dominica 1945 / British West Indies Grid",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-62 +k=0 999500
Editar Deletar	2003	EPSG	2003	PROJCS["Grenada 1953 / British West Indies Grid",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-62 +k=0 999500
Editar Deletar	2004	EPSG	2004	PROJCS["Montserrat 1953 / British West Indies Grid",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-62 +k=0 999500
Editar Deletar	2005	EPSG	2005	PROJCS["St Kitts 1955 / British West Indies Grid",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-62 +k=0 999500
Editar Deletar	2006	EPSG	2006	PROJCS["St Lucia 1955 / British West Indies Grid",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-62 +k=0 999500
Editar Deletar	2007	EPSG	2007	PROJCS["St Vincent 45 / British West Indies Grid",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-62 +k=0 999500
Editar Deletar	2008	EPSG	2008	PROJCS["NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 2", GEOGCS["NAD27",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-55.5 +k=0 999900
Editar Deletar	2009	EPSG	2009	PROJCS["NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 3", GEOGCS["NAD27",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-58.5 +k=0 999900
Editar Deletar	2010	EPSG	2010	PROJCS["NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 4", GEOGCS["NAD27",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-61.5 +k=0 999900
Editar Deletar	2011	EPSG	2011	PROJCS["NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 5", GEOGCS["NAD27",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-64.5 +k=0 999900
Editar Deletar	2012	EPSG	2012	PROJCS["NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 6", GEOGCS["NAD27",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-67.5 +k=0 999900
Editar Deletar	2013	EPSG	2013	PROJCS["NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 7", GEOGCS["NAD27",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-70.5 +k=0 999900
Editar Deletar	2014	EPSG	2014	PROJCS["NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 8", GEOGCS["NAD27",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-73.5 +k=0 999900
Editar Deletar	2015	EPSG	2015	PROJCS["NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 9", GEOGCS["NAD27",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-76.5 +k=0 999900
Editar Deletar	2016	EPSG	2016	PROJCS["NAD27(CGQ77) / SCoPQ zone 10", GEOGCS["NAD27",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-79.5 +k=0 999900
Editar Deletar	2017	EPSG	2017	PROJCS["NAD27(76) / MTM zone 8", GEOGCS["NAD27(76)",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-73.5 +k=0 999900
Editar Deletar	2018	EPSG	2018	PROJCS["NAD27(76) / MTM zone 9", GEOGCS["NAD27(76)",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-76.5 +k=0 999900
Editar Deletar	2019	EPSG	2019	PROJCS["NAD27(76) / MTM zone 10", GEOGCS["NAD27(76)",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-79.5 +k=0 999900
Editar Deletar	2020	EPSG	2020	PROJCS["NAD27(76) / MTM zone 11", GEOGCS["NAD27(76)",...]	+proj=tmmerc +lat_0=0 +lon_0=-82.5 +k=0 999900

Figura 5.10 – Tabela SPATIAL_REF_SYS

Na figura 5.10, a coluna **srtext**, armazena a representação WKT do SRS (ver seção 3.3). A coluna **auth_name** armazena o nome do padrão que está sendo utilizado para determinado SRS. Já a coluna **auth_srid** representa o SRID (ver glossário), como definido no **auth_name**. A coluna de **proj4text** mostra a *string* de definição de coordenada Proj4 (ver glossário) para um SRID particular.

phpPgGIS : Administration Tool for PostGIS :: PostgreSQL?: mapeamento?: public?: geometry_columns?:							
Navegar							
Ações	f_table_catalog	f_table_schema	f_table_name	f_geometry_column	coord_dimension	srid	type
Editar Deletar	public	public	bairros	the_geom	2	-1	MULTIPOLYGON
Editar Deletar	public	public	regioes	the_geom	2	-1	MULTIPOLYGON
Editar Deletar	public	public	ruas	the_geom	2	-1	MULTILINESTRING
Editar Deletar	public	public	enderecamento	the_geom	2	-1	POINT

4 Linha(s)
 Voltar | Expandir | Inserir | Refresh

Figura 5.11 – Tabela GEOMETRY_COLUMNS

A coluna **f_geometry_column**, apresentada na figura 5.11, armazena o nome da coluna geométrica das tabelas que têm dados espaciais. No caso do projeto Mapeamento, todas as tabelas que apresentam dados espaciais (**bairros**, **regioes**, **ruas**, **enderecamento**); esses dados ficam armazenados na coluna de nome **the_geom**. Além disso, a coluna espacial dessas tabelas tem dimensão espacial bidimensional (coluna **coord_dimension**).

Como se descreveu anteriormente (seção 4.1.5), a extensão PostGIS suporta vários tipos de geometrias (ponto, multilinhas, polígonos etc). Como se pode observar na figura 5.11 (coluna **f_table_name**), há quatro tabelas que estão relacionadas com os dados espaciais no banco de dados do projeto Mapeamento. As tabela **bairros** (ver figura 5.12) e **regioes** (ver figura 5.13) suportam dados espaciais do tipo MULTIPOLYGON.

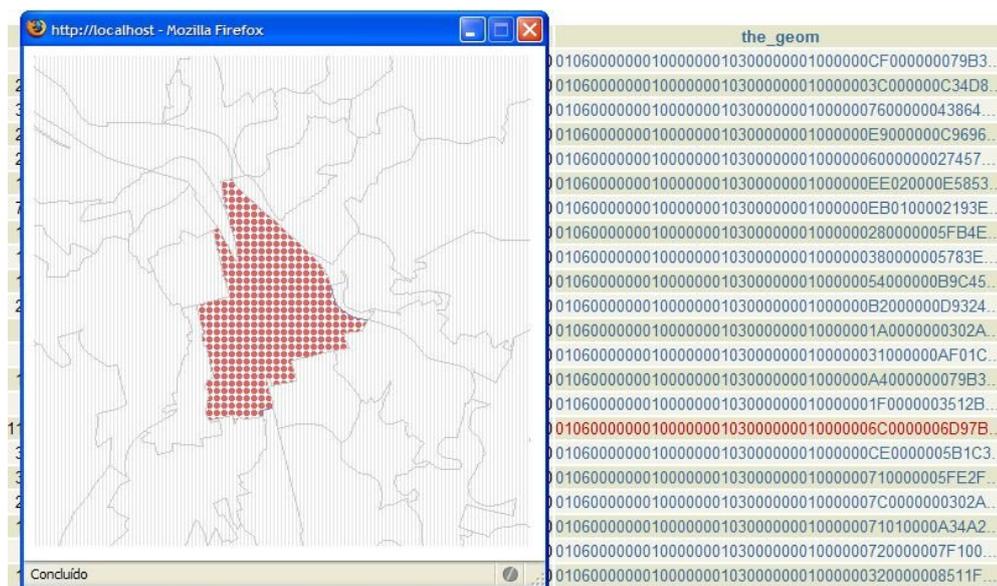


Figura 5.12 – Visualização do bairro Centro

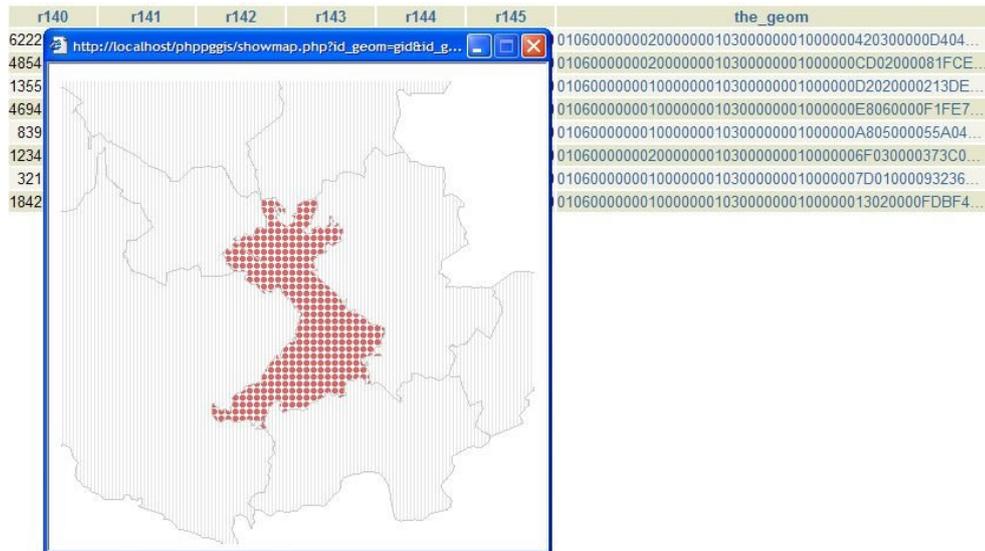


Figura 5.13 – Visualização da região Centro

Já a tabela **ruas** (ver figura 5.14) do tipo geométrico MULTILINESTRING e a tabela **endereçamento** suporta dados espaciais do tipo POINT.

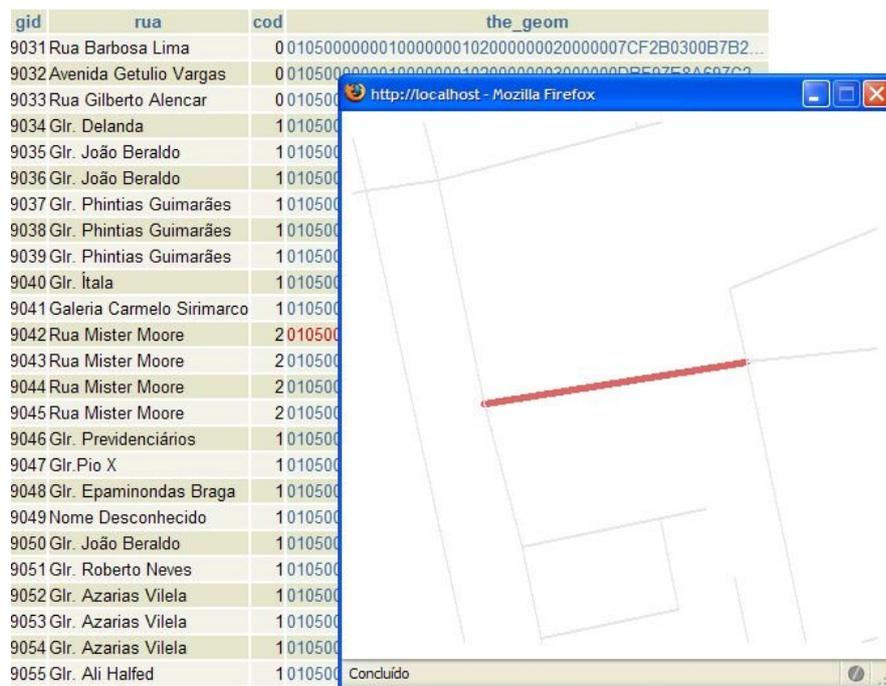


Figura 5.14 – Visualização de parte da rua *Mister Moore*

Há um recurso chamado phpPgGIS (ver glossário), que permite a visualização dos campos que armazenam as geometrias, diretamente no banco de dados. Através desse recurso foi possível visualizar as figuras 5.12, 5.13 e 5.14.

5.4 Consulta

A extensão espacial permite que em um comando SQL disponha-se de operadores e predicados espaciais e alfanuméricos. Desse modo, é possível acessar informações das

instituições, além de representá-las e localizá-las no mapa. Abaixo serão exemplificadas algumas consultas, manipulando dados espaciais e alfanuméricos.

Consulta 1: Para exibir somente uma instituição no mapa, conforme a figura 5.5, faz-se a seguinte consulta, no arquivo de configuração dinâmica do mapa, sendo que a variável `$cod_inst` representa o código da instituição a ser exibida:

```
"SELECT x(e.the_geom) as x, y(e.the_geom) as y, i.nome, i.rua,
i.numero, i.horario_funcionamento_inicial,
i.horario_funcionamento_termino, i.codigo, i.codigo_caracterizacao,
i.codigo_financiamento FROM enderecamento e, instituicao i WHERE e.gid
= i.codigo_enderecamento AND i.codigo = ' ' . $cod_inst . ' '";
```

Consulta 2: Já para exibir todas as instituições cadastradas no banco de dados que estão geo-referenciadas, semelhante a figura 5.3, utiliza-se a seguinte consulta:

```
SELECT DISTINCT the_geom FROM (SELECT e.gid AS gid, e.the_geom AS
the_geom, i.codigo_caracterizacao AS cod_caract FROM enderecamento e,
instituicao i, caracterizacao c WHERE i.codigo_enderecamento = e.gid)
as inst
```

Dessa forma, e extensão espacial possibilita a mesclagem em um comando SQL de operadores e predicados alfanuméricos e espaciais, permitindo a execução de consultas espaciais. Outro exemplo de consulta com dados espaciais e dados descritivos:

Consulta 3: “Quais instituições estão localizadas em um raio de 800m da instituição CERNE?”

```
SELECT i2.* FROM instituicao i1, instituicao i2, enderecamento e1,
enderecamento e2 WHERE i1.nome = 'CERNE' AND i1.codigo_enderecamento =
e1.gid AND i2.codigo_enderecamento = e2.gid AND DISTANCE(e1.the_geom,
e2.the_geom) <= 800
```

O resultado da consulta 3 no banco de dados é como ilustrado na figura 5.15;

codigo	codigo_caracterizacao	codigo_financiamento	codigo_equipe	codigo_programa	nome	rua	numero
35	35	35	35	35	Catedral Metropolitana de Juiz de Fora	Santo Antônio	1201
23	23	23	23	23	Centro de Acolhimento à Infância e Juventude	Fernando Lobo	203
7	7	7	7	7	CERNE	Rio Branco	2555
6	6	6	6	6	CPA (Centro de psicologia aplicada)	Santos Dumont	214
10	10	10	10	10	Fórum da Cultura	Santo Antônio	1112
9	9	9	9	9	Franciscanos Missionárias de São Pascoal	Pasteur	NULL
24	24	24	24	24	Pastoral do Povo de Rua	Henrique Surerus	30

7 Linha(s)

Figura 5.15 – Resultado da Consulta 3

O resultado dessa consulta no mapa é conforme a figura 5.16 (a instituição CERNE está destacada nesta figura). As outras instituições representam todas as instituições que se encontram a 800m do CERNE. No caso, como apresentado anteriormente (figura 5.16), há seis instituições que estão localizadas em um raio de 800m da instituição CERNE.

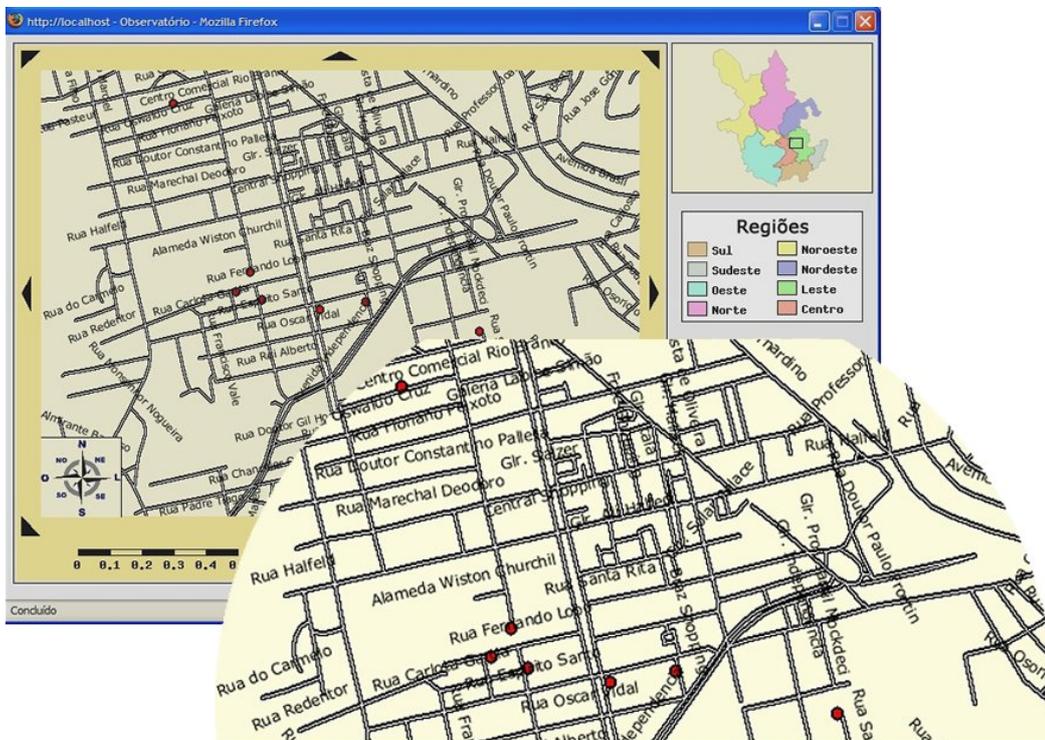


Figura 5.16 – Exibição do resultado da consulta no mapa

5.5 Conclusão

Para aperfeiçoar o *website* do projeto Observatório, pode-se implementar a geração de mapas temáticos de forma dinâmica, de acordo com a necessidade do usuário, utilizando recursos do MapServer, além de implementar as estatísticas (tabelas e gráficos) diretamente do banco de dados, através do JpGraph e, posteriormente, estender a implementação das estatísticas também para o MapServer.

Como se pode notar, o SGBD PostgreSQL com sua extensão espacial PostGIS atende às necessidades do projeto sem causar prejuízos à aplicação. Desse modo, esse SGBD e sua extensão espacial mostram uma alternativa suficiente e interessante, já que é uma opção distribuída gratuitamente. A princípio, não há necessidade de substituir esses recursos.

Capítulo 6

Conclusão

Os SGBDs com suporte a dados espaciais surgiram da evolução e da necessidade de representar dados com características geográficas. Para o tratamento desse tipo particular de aplicação, foram criados objetos, funções e índices específicos através de extensões espaciais de Banco de Dados.

O presente trabalho apresentou uma visão geral da aplicabilidade das extensões espaciais, bem como os seus conceitos e o contexto em que essa ferramenta está inserida. Feito isso, abordaram-se os principais aspectos de cada extensão e, em seguida, mostrou-se o estudo de caso dos Projetos Observatório e Mapeamento da Rede Sócio-Assistencial à Infância e Juventude de Juiz de Fora, utilizando a extensão espacial PostGIS.

Através deste estudo, foram analisadas as extensões espaciais e observou-se que não há necessidade de substituir a extensão em uso (PostGIS), já que a mesma atende perfeitamente às necessidades dos Projetos; além disso, é uma ferramenta gratuita e poderosa, dispõe de muitos recursos que proporcionam o suporte aos dados espaciais de forma eficiente.

Para trabalhos futuros, pode-se citar a geração de mapas temáticos e estatísticas utilizando a integração dos dados espaciais e descritivos, buscando essas informações no banco de dados e gerando-se o mapa interativo, de acordo com as necessidades do usuário. Ainda como trabalhos futuros, podem-se estudar as características que envolvem o armazenamento e a manipulação dos dados espaciais, bem como os aspectos relacionados à otimização de consulta, indexação, clusterização. Além disso, estuda-se a forma como é realizada a integração e a interoperabilidade entre fontes de dados geográficos.

Como as extensões espaciais ainda não implementam suporte aos dados espaciais sobre a forma de dados matriciais, esse aspecto pode constituir mais uma fonte profícua para futuros estudos.

Referências bibliográficas

BORGES, Karla A.V.; FONSECA, Frederico. **Modelagem de Dados Geográficos em Discussão**. In: Anais do GIS Brasil'96. 1996. p. 524-533.

BORGONY, Vânia. **Um Estudo sobre o OpenGIS: A Proposta as OGC para Interoperabilidade e Distribuição em Sistemas de Informação Geográfica**. Porto Alegre – RS, 1999. 78p. Dissertação (Especialização em Computação) – Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BÜCHNER, Rogério Luiz. **Objetos Espaciais em Banco de Dados Relacional: Uma aplicação prática utilizando PostGIS**. Ponta Grossa – PR, 2002. Trabalho (Especialização em Administração em Banco de Dados), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

CÂMARA, G. *et al.* **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. São José dos Campos – SP, 1996. 206p. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

CÂMARA, G. *et al.* **Banco de Dados Geográficos**. Curitiba – PR: MundoGEO, 2005. 506p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos – SP, 2001. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

CAMPOS, Nuno. **PostgreSQL: Índices**. 2005. Trabalho de Desenvolvimento (Tecnologias de Base de Dados). Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa.

CORTEZ, Silvio Siqueira. **Tradução de Consultas Visuais para Cláusulas SQL**. Recife – PE, 2002. 47p. Trabalho de Graduação (Ciência da Computação) – Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco.

DB2 Universal Database. **Centro de Informações do DB2**. Disponível em: <<http://publib.boulder.ibm.com/infocenter/db2luw/v8//index.jsp>>. Acesso em 15 jun. 2007.

FERREIRA, K. R. *et al.* **Arquiteturas de Software para Construção de Banco de Dados Geográficos com SGBD Objeto-Relacionais**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Banco de Dados, 2002, Gramado – RS. XVII Simpósio Brasileiro de Banco de Dados, 2002.

FILGUEIRAS, E. Q. **Híbridos: ORDBMS são alternativas viáveis para OODBMS?** Developer's Cio Magazine, n 47, p.16-18. 2000.

FRANK, A.; MARK, D. **Language Issues for GIS**. 1991. In: MAGUIRE, D.; GOODCHILD, M.; RHIND, D., eds., *Geographical Information Systems*, Volume 1: Principles: London, Longman, p.147-163.

GEOLIVRE. **phpPgGIS**. Disponível em: <<http://www.geolivres.org.br/?q=node/2>>. Acesso em: 16 jun. 2007.

IBM DB2 Spatial Extender. **User's Guide and Reference**. Versão 8. Disponível em: <<http://users.sdsc.edu/~jrowley/db2/Spatial%20-%20Users%20Gd%20and%20Ref.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2007.

IBM Software. **Informix DataBlade modules**. Disponível em: <<http://www-306.ibm.com/software/data/informix/blades>>. Acesso em: 15 jun. 2007.

ISO/IEC JTC 1/SC 32 Data Management and Interchange SQL and Application Packages. Parte 3 No.0229, 1999.

LISBOA FILHO, J. **Projeto de Banco de Dados para Sistemas de Informação Geográfica**. Revista Eletrônica de Iniciação Científica, Meio eletrônico, v.1, n.2, p. 1-29, 2001.

MARTINS, Vidal. **Uma visão Geral sobre ODBC**. Revista Bate Byte. Edição 53, 1996. Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/batebyte/edicoes/1996/bb53/odbc.htm>>. Último acesso em Maio 2007.

MySQL AB. **Manual de Referência do MySQL 4.1**. Disponível em: <<http://dev.mysql.com/doc/refman/4.1/pt>>. Acesso em: 15 jun. 2007.

OGC. **Simple Feature Access - Part 2: SQL Option (OpenGIS Simple Features Specification For SQL Revision 1.1)**. Disponível em: <<http://www.opengeospatial.org/standards/sfs>>. Acesso em: 15 jun. 2007.

OKIDA, Gustavo Tadão. **Índices para consultas por conteúdo em banco de dados heterogêneos**. São Paulo – SP, 2004. 102p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo.

ORACLE DATABASE. **Oracle Spatial & Oracle Locator: Location Features for Oracle Database 10g**. Disponível em: <<http://www.oracle.com/technology/products/spatial/index.html>>. Acesso em: 16 jun. 2007.

PINHEIRO, Luciene Cristina. **Método de Representação Espacial de Clustering**. Curitiba – PR, 2006. 135p. Dissertação (Mestrado em Informática) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.

PostGIS. **Manual do PostGIS**. Disponível em: <<http://www.webgis.com.br/postgis>>. Acesso em: 15 jun. 2007.

QUEIROZ, Gilberto Ribeiro. **Algoritmos Geométricos para Bancos de Dados Geográficos: da Teoria à Prática na Terralib**. São José dos Campos – SP, 2003. 147p. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

ROCHA, L. V. **GeoFrame-T: um Framework Conceitual Temporal para Aplicações de Sistemas de Informação Geográfica**. Porto Alegre – RS, 2001. 138 p. Dissertação (Mestrado em Computação) – Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SILVA, E. O. **Introdução a Sistemas de Informações Geográficas**. Devmedia – SQL Magazine. Disponível em: <<http://www.devmedia.com.br/articles/viewcomp.asp?comp=1595>>. Acesso: 15 jun. 2007.

SILVA, Rosângela. **Banco de Dados Geográficos: Uma Análise das Arquiteturas DUAL (Spring) e Integrada (Oracle Spatial)**. São Paulo – SP, 2002. 137p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SOFTWARE LIVRE. **phpPgGIS – a ferramenta que faltava para o PostgreSQL/PostGIS**. Disponível em: <<http://www.softwarelivre.org/news/6409>>. Acesso em: 16 jun. 2007.

TEIXEIRA NETO, M. C. **Estruturas de Dados para Indexação de Grandes Volumes de Dados**. Recife – PE, 2001. 28p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação), Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco.

Glossário

BSD: essa licença garante total liberdade de uso, alteração, modificação e distribuição do sistema, além disso, permite que versões proprietárias e comerciais sejam criadas a partir do sistema licenciado nesses termos.

B-tree: é uma árvore de busca desenvolvida para trabalhar em discos magnéticos ou qualquer outro dispositivo de armazenamento de acesso direto em memória secundária. Em uma aplicação comum de uma *B-tree*, a quantidade de dados é tão grande que provavelmente não caberia na memória principal. A *B-tree* copia blocos específicos para a memória principal quando necessário e os grava no disco se os blocos tiverem sido alterados. A implementação da *B-tree* tem o objetivo de deixar em memória primária os nós mais acessados. (TEIXEIRA NETO, 2001)

GiST: segundo CÂMARA *et al.* (2005), o GiST consiste em um índice (árvore balanceada) que pode fornecer tanto as funcionalidades de uma *B-tree* quanto de uma *R-tree* e suas variantes. A principal vantagem desse índice é a possibilidade de definição do seu “comportamento”. Já na visão de CAMPOS (2005), os índices GiST não são um único tipo de índice, mas na verdade uma infra-estrutura na qual muitas estratégias de indexação diferentes podem ser implementadas. De acordo com essa característica, os operadores com os quais um índice GiST pode ser utilizado variam de acordo com a estratégia de indexação.

GNU/GPL (*General Public License*): licença que garante todas as liberdades de um software livre, porém qualquer melhoria do código-fonte deve ser reportada ao mantenedor do projeto.

Grid-file: pode ser visto como uma extensão do Hash em múltiplas dimensões. A idéia desse método é colocar uma grade de linhas no espaço em que estão os pontos; essa grade deve ser ajustada de acordo com a densidade dos pontos. Cada célula da grade deve corresponder, no máximo, a uma página de disco, mas várias células podem estar numa mesma página. (OKIDA, 2004)

HASH: Os índices baseados em funções Hash apenas suportam comparações simples de igualdade. (CAMPOS, 2005)

Minimum Bounding Rectangle (MBR): para maioria das geometrias, o MBR é um retângulo que engloba a geometria. Para uma linha (*LineString*) horizontal ou uma vertical, o MBR é um retângulo degenerado, nas linhas e nos pontos, respectivamente. Desse modo, O MBR funciona como um filtro na verificação da existência de pontos em comum entre

dois objetos, à medida que os respectivos MBRs não tiverem intersecção, estes objetos não têm a chance de ter pontos em comum. (OKIDA, 2004)

Modelo de 9-Interseções Estendido Dimensionalmente (DM-9IM) definido por Egenhofer: este modelo considera as interseções, vazia (0) ou não vazia (1), entre os interiores, fronteiras e exteriores de duas geometrias. (FERREIRA *et al.*, 2002).

MyISAM: estrutura de armazenamento original e mais simples do MYSQL, de forma que não há mecanismos de controle de transação e de integridade referencial, o que prejudica sua utilização em sistemas com baixo requisito de robustez e de complexidade.

Oracle Database 10g Enterprise Edition: tem a opção de agregar extensão espacial, oferece desempenho de alto nível, escalabilidade e confiabilidade, em configurações clusterizadas e de servidor único, além de fornecer características para dar suporte a grandes demandas de processamento de transação, inteligência de negócio, e aplicações de gerenciamento. (ORACLE DATABASE, 2007)

phpPgGIS: de acordo com GEOLIVRE (2007), esse software foi desenvolvido com base no phpPgAdmin, porém inclui a capacidade de interpretar dados espaciais armazenados com o PostGIS. Já segundo SOFTWARE LIVRE (2007), o phpPgGIS utiliza o MapServer para visualizar o conteúdo espacial dos campos do PostGIS com muita simplicidade (apenas um clique); desse modo, seqüências de códigos complexos (campo de geometria) podem ser visualizados. Esse recurso torna muito fácil a gerência de um banco de dados geográfico baseado no PostgreSQL/PostGIS.

Proj4: biblioteca que fornece as potencialidades de transformação de coordenadas para a extensão espacial PostGIS. Menor intersecção de retângulos dimensionais que contenha um objeto.

Quad-tree: cada nó interior corresponde a uma região quadrada em duas dimensões, ou a um cubo k-dimensional em k-dimensões. Considerando o caso de um espaço bi-dimensional, se o número de pontos no quadrado não for maior que a quantidade que cabe em um bloco, pode-se pensar nesse quadrado como uma folha da árvore que está representada pelo bloco que contém os pontos; caso contrário, se existirem muito mais pontos do que cabe no quadrado, pode-se tratar o quadrado como um nó interior, com filhos correspondentes a seus quatro quadrantes. (OKIDA, 2004)

R-tree: Os índices R-tree usam o algoritmo de divisão quadrática de Guttman (esse algoritmo tenta encontrar a menor divisão de uma área; no entanto, não é garantido que a encontre) e são utilizados para interrogações em dados espaciais de duas dimensões.

Shape: é o formato dos arquivos provenientes do software ArcView, compreendendo arquivos com feições vetoriais (formatos .shp, .shx, .sbx e sbn) e suas tabelas associadas em formato Dbase (.dbf). Desse modo, através do *software* ArcView, é gerado um arquivo *shape* (que representa um *layer*, ou também conhecido como camada, que representa as informações espaciais de um determinado espaço geográfico), no caso dos projetos em questão, esses *shapes* são fornecidos pelos bolsistas da geografia.

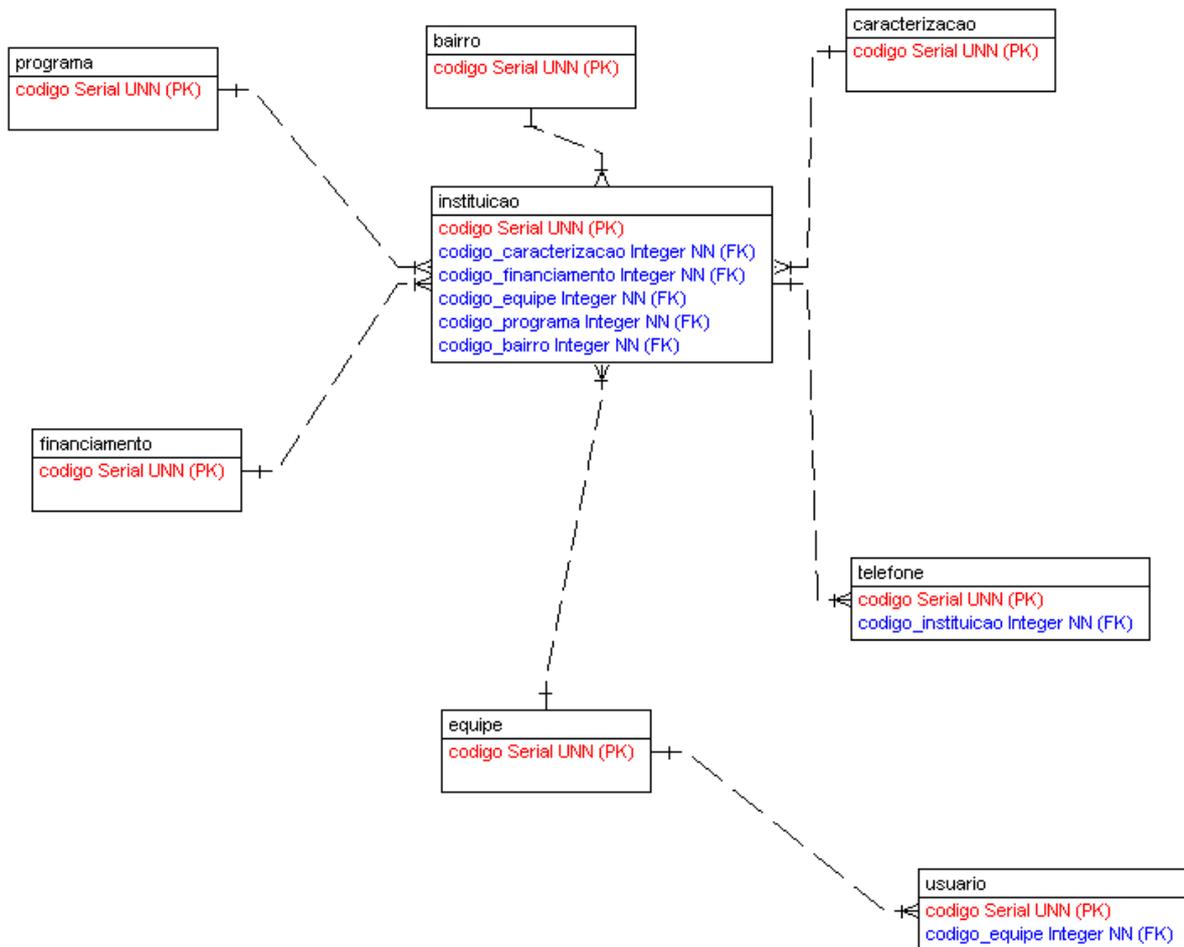
shp2pgsql: o carregador de dados shp2pgsql converte arquivos ESRI Shape dentro do SQL de maneira correta para inserção em um banco de dados de PostGIS/PostgreSQL. O carregador tem vários modos operacionais distinguidos em linha de comando por parâmetro. Para maiores informações, consultar Manual do PostGIS¹.

¹ Disponível em: <http://www.webgis.com.br/postgis>

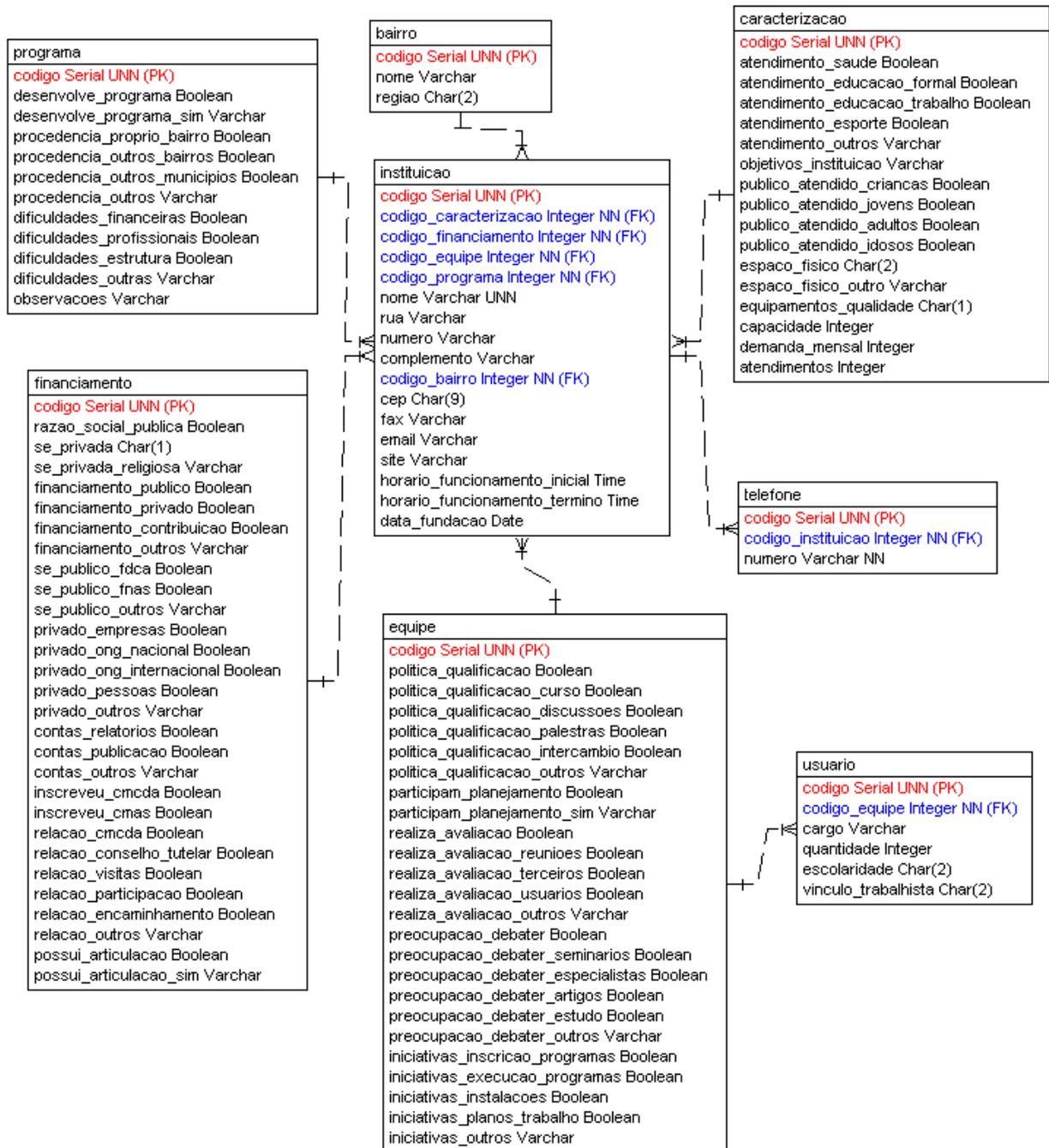
Anexo A

Modelagem do banco de dados do projeto Observatório

1. Visualização das Entidades com as chaves



2. Visualização das Entidades com chaves e atributos



Anexo B

Modelagem do banco de dados do projeto Mapeamento

1. Visualização das Entidades com as chaves

