



Pós-graduação em Ciência da Computação

Definição de Operadores de Distância Qualitativa
para Objetos Geográficos Estendidos

Por

Weyler Nunes Martins Lopes

Dissertação de Mestrado



Universidade Federal de Pernambuco
posgraduacao@cin.ufpe.br
www.cin.ufpe.br/~posgraduacao

RECIFE(PE), Fevereiro / 2003

Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Informática
Pós-graduação em Ciência da Computação

Definição de Operadores de Distância Qualitativa
para Objetos Geográficos Estendidos

Weyler Nunes Martins Lopes
(wnml@cin.ufpe.br)

Dissertação submetida ao Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Orientadora: **Profa. Dra. Valéria Cesário Times**

RECIFE(PE), Fevereiro / 2003

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Francisco Lopes e Maria Beatriz,
e a todos aqueles que, direta ou
indiretamente, contribuíram para
sua realização.*

Agradecimentos

Aos meus pais, Francisco Lopes e Maria Beatriz, pelo apoio incondicional em todos os passos da minha vida.

A minha namorada Mariana pela compressão e suporte em todas as horas.

Aos amigos de Recife, de modo muito especial ao Marcelo Caetano, ao João Batista e à Cynthia, pela preciosa acolhida naquela cidade.

Ao CEFET/PI e à UFPE, que acreditaram e viabilizaram a realização deste trabalho.

À professora Valéria, minha orientadora, grande motivadora, sempre paciente e dedicada.

À professora Ana Carolina, minha co-orientadora, pelo valoroso apoio.

Aos membros da banca examinadora, professor Fernando Fonseca e professora Fátima Queiroz, que aceitaram o convite para participar da defesa deste trabalho.

Aos professores do Centro de Informática da UFPE, Djamel Sadok, Décio Fonseca, Manoel Eusébio e Wilson Rosas, pela excelência de suas atividades docentes.

Ao Tribunal de Justiça do Estado do Piauí por haver apoiado e acreditado em meu aprimoramento técnico.

A todos os colegas do mestrado, pelo convívio solidário na realização deste desafio.

Resumo

Tradicionalmente, a maioria dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) utiliza métodos puramente baseados na geometria dos objetos geográficos para representar uma informação espacial. Dessa forma, estes sistemas são eficientes para analisar e integrar informações espaciais por meio de dados modelados em coordenadas espaciais. Esta abordagem, porém, apresenta sérias limitações quando desejamos lidar com informações espaciais que refletem a forma como concebemos e raciocinamos sobre o espaço geográfico.

O raciocínio espacial qualitativo tem ocupado um papel importante na busca por incrementar os SIG com mecanismos que incorporam o raciocínio e o conhecimento humanos sobre espaço. O objetivo destes mecanismos é prover meios que possibilitem ao usuário lidar com dados espaciais da mesma forma que ele percebe e interage com o mundo.

Neste sentido, nosso trabalho visou criar meios para tratar relações de distância entre objetos geográficos. Para isto, serviu como motivação a importância que ocupa a questão da distância na atividade humana.

O trabalho inclui: (1) uma análise dos principais fatores que interferem no raciocínio humano sobre distância; (2) definição de operadores para prover relações de distância qualitativa entre objetos geográficos, incluindo objetos de duas dimensões; (3) a implementação de um protótipo de sistema que utiliza os operadores de distância propostos.

Dentre as principais funcionalidades do protótipo está o provimento de distância qualitativa entre objetos geográficos de diferentes formas e propriedades. Fatores como escala, alcançabilidade e atratividade são considerados para a definição da relação de distância entre estes objetos.

Abstract

Most Geographic Information Systems (GIS) traditionally uses methods that are purely based in the geographic object geometry in order to represent a spatial information. Thus, these systems are efficient in analysing and integrating spatial information by modelling data in spatial co-ordinates. However, this approach has serious shortcomings when we need to deal with spatial information that reflects the manner we concept and reason about the geographic space.

The qualitative spatial reasoning has had an important role in the searching enhanced GIS mechanisms that incorporate the human reasoning and knowledge about space. The goal of these mechanisms is to provide a mean of allowing users to deal with spatial data in the same way as they perceive and interact with the world.

Therefore, this work aimed at creating means of treating spatial relations between geographic objects. To achieve this goal, the importance of the distance concept in human activity served as our main motivation.

This work includes: (1) an analysis of the main factors that affect the human reasoning about distance; (2) a definition of operators designed to provide qualitative distance between geographic objects, including two-dimensional objects; (3) a system prototype implementation that uses the proposed distance operators.

Amongst the main prototype functionality is the provision of qualitative distances between geographic objects having different shapes and properties. Factors such as scale, reachability and attractiveness are taken into account in the definition of the distance relation between these objects.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Motivação.....	1
1.2	Objetivo.....	3
1.3	Organização da Tese.....	3
2	SIG – Sistemas de Informações Geográficas	5
2.1	Breve Histórico.....	6
2.2	Componentes.....	7
2.3	Aplicações.....	8
2.4	Dados Geográficos.....	9
2.5	Tipos de Representação.....	11
2.6	Padrões de Modelos de Dados.....	12
2.6.1	Níveis de Especificação.....	13
2.6.2	O padrão SAIF.....	14
2.6.3	O Padrão OGIS.....	16
2.7	Conclusão.....	20
3	Teoria do Raciocínio Espacial Qualitativo	21
3.1	Introdução.....	21
3.2	Modelos Qualitativos de Relações Espaciais.....	22
3.2.1	Modelos para Relações Topológicas.....	23
3.2.2	Modelos para Relações de Distância e Direção.....	26
3.3	Protótipos de Sistemas Espaciais Qualitativos.....	30
3.3.1	Sharma <i>et al</i>	31
3.3.2	Bennett <i>et al</i>	32
3.3.3	Times, V.....	32
3.4	SIG Disponíveis Comercialmente.....	33

3.4.1	ARC/INFO	33
3.4.2	ArcView	34
3.4.3	MGE	35
3.4.4	Smallworld	36
3.4.5	Spring	36
3.5	Conclusão	37
4	Distância em SIG	38
4.1	Conceito de Distância	38
4.1.1	Distância Quantitativa	39
4.1.2	Distância Qualitativa	40
4.2	Fatores que Influenciam Distância	40
4.2.1	Posição dos Objetos	41
4.2.2	Escala	43
4.2.3	Atratividade	43
4.2.4	Acessibilidade	44
4.2.5	Tamanho e Forma	45
4.2.6	Objetivo da Informação	45
4.2.7	Temporalidade	45
4.3	Raciocínio sobre Distância em SIG	46
4.3.1	Zonas de <i>Buffer</i>	46
4.3.2	Lógica <i>Fuzzy</i>	48
4.3.3	Mecanismos de Inferência	49
4.4	Conclusão	50
5	SDQ – Um Sistema de Distâncias Qualitativas	51
5.1	O Sistema ArcView	51
5.1.1	Modelo de Dados	52
5.1.2	Ambiente da Aplicação	55
5.1.3	Interface Gráfica	57
5.2	Fatores que Definem Distância no SDQ	59
5.2.1	Atratividade	60
5.2.2	Acessibilidade	62
5.2.3	Posição dos Objetos	64
5.2.4	Escala	66

5.3	Detalhes da Implementação de SDQ.....	67
5.3.1	Tratando Objetos Estendidos	67
5.3.2	Utilizando Lógica <i>Fuzzy</i>	69
5.3.3	Variáveis Globais	70
5.3.4	Tabelas Auxiliares.....	71
5.3.5	Diagramas de Estado.....	72
5.4	Funcionalidades do SDQ.....	74
5.4.1	Cálculo de Distâncias	76
5.4.2	Visualizando e mantendo tabelas	79
5.4.3	Mantendo Atratividade e Trafegabilidade	80
5.4.4	Configurando o sistema.....	81
5.5	Conclusão	82
6	Conclusão	83
6.1	Revisão dos Objetivos da Trabalho.....	83
6.2	Principais Contribuições	84
6.3	Trabalhos Futuros.....	85
	Referências	88

Lista de Figuras

2.1	Componentes de um SIG [8]	7
2.2	Modelo de dados SAIF (Parcial) [7]	16
2.3	Hierarquia da classe Geometria [59]	19
3.1	Relações de conexão entre regiões espaciais [15]	23
3.2	Relações topológicas entre regiões [21]	24
3.3	Possíveis relações entre dois intervalos [1]	26
3.4	Disposição de objetos em uma figura simbólica [77]	27
3.5	<i>Grid</i> de orientação e suas 15 relações espaciais [33]	28
3.6	Representação de relação entre segmentos de linha [72]	30
3.7	Hierarquia de classes usada pelo protótipo [22]	31
3.8	Janela de seleção para obtenção de relações espaciais no ArcView	35
4.1	Escola A próxima do hospital B	42
4.2	Escola A não tão próxima do hospital B	42
4.3	Escola A não tão próxima do hospital B	43
4.4	Escola A mais próxima de C do que de B	44
4.5	Zonas de buffer calculadas no ArcView	47
4.6	Zonas de buffer com sub-regiões calculadas no ArcView	47
4.1	Composição de uma <i>Visão</i> [3]	53
4.2	Uma <i>Visão</i> do ArcView 3.2	53
4.3	Classe <i>FTab</i> [3]	54
4.4	Classe <i>Forma</i> [3]	55

4.5	Classes do ambiente da aplicação [3].....	56
4.6	Composição da <i>DocGUI</i> [3].....	58
4.7	Quadro de referência para cálculo da acessibilidade.....	64
4.8	Distância entre a escola A e o hospital B	66
4.9	<i>Script</i> em Avenue	67
4.10	Distintos pontos de referência.....	68
4.11	Modelo de diagrama de estado	72
4.12	Diagrama de estado para seleção de objetos	73
4.13	(a) Diagrama de estado para cálculo de distância quantitativa	73
5.13	(b) Diagrama de estado para tratar ponto de referência	73
5.13	(c) Diagrama de estado para recuperar ponto de referência.....	74
5.14	(a) Diagrama de estado de detalhamento do cálculo da distância qualitativa.....	74
5.14	(b) Diagrama de estado para cálculo da distância qualitativa	74
5.15	(a) Funcionalidades de distância	75
5.15	(b) Visualização das tabelas de relações e configuração	76
5.15	(c) Visualização das opções de configuração	76
5.16	(a) Caixa de mensagem com resultado de consulta quantitativa	77
5.16	(b) Caixa de mensagem com resultado de consulta qualitativa	78
5.17	(a) Seleção do tema	78
5.17	(b) Resultado da consulta.....	79
5.18	Tabelas auxiliares.....	80
5.19	Definindo a trafegabilidade de um objeto.....	80
5.20	Configurando o sistema	81

Lista de Tabelas

2.1	Evolução da tecnologia em SIG [7]	6
3.1	Tabela comparativa dos protótipos apresentados	33
5.1	Uma tabela da classe <i>FTab</i>	54
5.2	Localização dos dados para ponderação dos fatores no SDQ	59
5.3	(a) Tabela referente aos objetos do tema hospital	61
5.3	(b) Tabela referente aos temas	61
5.4	Tabela auxiliar de relação com registros selecionados	65
5.5	Variáveis Lingüísticas por quantidade de níveis	70
5.6	(a) Tabela auxiliar de temas	71
5.6	(b) Tabela auxiliar de relações	71
5.6	(c) Tabela auxiliar de configurações	72

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

Cálculos de distâncias são pertinentes a atividades do nosso cotidiano. São várias as situações que nos levam à necessidade de ponderar distâncias para tomarmos alguma decisão. A menor distância entre duas localidades pode ser traduzida como a maior economia de tempo ou menor custo de deslocamento. Assim, a informação sobre a distância que frequentemente queremos obter, nem sempre corresponde à simples distância geométrica representada em alguma unidade de medida.

A maneira pela qual determinamos o que é perto ou longe, que está muito relacionada à nossa experiência cotidiana e visão pessoal do mundo real, pode parecer simples, porém, há uma grande quantidade de fatores que são ponderados até chegarmos a alguma conclusão. Isto evidencia o fato de que distância é mais do que extensão ou magnitude escalar. Envolve a ponderação de um conjunto de fatores.

A capacidade humana de raciocinar sobre distância se dá muitas vezes pela simples percepção do ambiente em questão e sem qualquer instrumento que possa precisar alguma medida. Seres humanos frequentemente utilizam aproximações e noções de relação entre localidades geográficas quando raciocinam sobre distância [23, 26, 32]. Dessa forma, é ressaltada a importância de que os resultados providos por algum sistema de informação estejam dentro do domínio do raciocínio espacial humano para que possa ser facilmente utilizado. Isto constitui um grande desafio para os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) atuais.

Os SIG, que serão abordados no próximo capítulo, armazenam dados espacialmente referenciados e provêm uma representação destes dados para que possam ser visualizados e manipulados graficamente [39]. Tradicionalmente, a maioria dos SIG utiliza métodos puramente baseados na geometria dos objetos geográficos para representar uma informação espacial. Esta abordagem apresenta sérias limitações quando o usuário deseja lidar com informações espaciais que refletem a forma como ele concebe e se comunica sobre o espaço geográfico. Para resolver este problema, uma das principais áreas de

pesquisa de SIG tem ido na direção da utilização de representações qualitativas. Representações qualitativas fornecem mecanismos para representar apenas aquelas características que são únicas ou essenciais para uma dada aplicação geográfica. Diferenciando desta abordagem, representações quantitativas podem representar todos aqueles valores que podem ser expressados em uma unidade predefinida [46]. Para um melhor entendimento, tomemos como exemplo a representação da distância que separa uma escola de um hospital. Em uma representação quantitativa, a distância que separa esses objetos¹ provavelmente assumirá valores exatos, numéricos e medidos através de uma unidade qualquer, que poderá ser metros, quilômetros, milhas, entre outras. Enquanto que em uma representação qualitativa, apenas características essenciais serão representadas, como por exemplo, *perto* e *longe*, considerando que apenas estas duas características são relevantes no cenário em questão, e já atendam satisfatoriamente aos requisitos do usuário.

Distância quantitativa, apesar de necessitar, algumas vezes, de processos complexos para ser calculada, não envolve muita complexidade se comparada à distância sob o ponto de vista qualitativo. Um exemplo disso é o processo de cálculo de distâncias, levando em consideração a forma geóide da Terra apresentado em [10], onde variações de latitude influenciam nos cálculos de distâncias. Apesar dos detalhes que envolvem a forma bem particular da superfície da Terra, esses cálculos são relativamente simples e diretos. É necessário somente, termos em mãos a latitude e longitude das localidades em questão, e rapidamente teremos a distância quantitativa que as separa através de aplicação direta de uma fórmula para este fim.

Calcular distâncias entre objetos geográficos sobre a ótica do raciocínio espacial qualitativo, buscando respostas eficientes que vão diretamente ao encontro das necessidades do usuário, é nosso grande fator de motivação, não apenas pela importância que as relações de distâncias qualitativas ocupam no cenário atual, mas também, pela contribuição que nosso trabalho possa dar ao tratamento de outras relações espaciais como direção, posição ou dimensão.

É importante ressaltar que, apesar da importância da utilização de representações qualitativas de dados em SIG ser evidente [23, 26, 27, 33], pouco se tem feito no sentido de criar métodos para o cálculo de distâncias qualitativas entre objetos de forma mais abrangente e profunda, pelo menos proporcionalmente à potencialidade de exploração deste assunto. Além disso, poucos trabalhos têm avaliado o quanto é útil o fornecimento de relações espaciais através de interfaces amigáveis, do ponto de vista do usuário.

Certos da importância do raciocínio espacial qualitativo nos SIG atuais e, sobretudo, da importância das relações de distância dentro desse raciocínio, podemos concluir que nosso trabalho prestará importante contribuição para a melhoria das funcionalidades dos SIG que a cada dia possuem maior relevância no mundo atual.

¹ Objetos no nosso contexto são representações de entidades do mundo real, ou uma abstração deste mundo real. Possui um domínio espacial, temporal, ou espaço-temporal como atributo. Um objeto pode ser qualquer coisa que possa ser localizada no tempo e no espaço [61].

1.2 Objetivo

Como já abordado na seção anterior, o cálculo de distância entre objetos geográficos é o ponto central do nosso trabalho. É importante dizer que estes objetos, usados como referência, não se restringem apenas a pontos, mas também a objetos com uma ou mais dimensões, como por exemplo, linhas e polígonos. Estes objetos são chamados de objetos geográficos estendidos. Considerar objetos estendidos neste trabalho aumentou o nosso desafio.

Resumidamente, o objetivo principal deste trabalho é definir métodos capazes de prover distâncias entre objetos geográficos estendidos que se aproximam da maneira que nós humanos raciocinamos sobre o espaço, e assim, apresentar como operadores podem ser implementados para prover relações qualitativas de distância em SIG. Para isto, vários aspectos de distância foram criteriosamente analisados até chegarmos aos principais fatores que afetam o conceito de distância sob o ponto de vista do raciocínio humano. O levantamento e a análise deste conjunto de fatores evidenciam a importância do raciocínio espacial qualitativo em SIG e como podemos lidar com ele.

Considerando a importância de mostrar de forma clara como operadores de distância qualitativa podem ser implementados e utilizados, o desenvolvimento de um protótipo, no qual estes operadores estão inseridos, tornou-se um outro importante objetivo a ser alcançado.

1.3 Organização da Tese

Os capítulos subsequentes foram estruturados visando atender os seguintes propósitos deste trabalho:

O capítulo 2 tem como objetivo abordar conceitos relacionados aos SIG que, de forma direta ou indireta, estão presentes no nosso trabalho. Além de apresentar algumas definições de SIG, discorrendo sobre suas funcionalidades, procuramos, principalmente, abordar a natureza do dado geográfico e suas representações. Apresentamos também dois importantes padrões de modelo de dados que muito contribuíram para construção de um modelo que atendesse aos requisitos deste trabalho, dentre eles, o modelo do Consórcio OpenGIS².

No capítulo 3, abordamos vários aspectos associados ao raciocínio espacial qualitativo com objetivo de evidenciar sua importância em SIG. Modelos qualitativos de relações espaciais são apresentados, como também, protótipos de sistemas espaciais qualitativos. A

² OpenGIS – *Open Geodata Interoperability Specification* é um consórcio sem fins lucrativos e dedicado a sistemas de geoprocessamento abertos. Este consórcio visa obter especificações abstratas e de implementação para componentes de software relacionados a SIG [61]. As especificações OpenGIS serão abordados no capítulo seguinte.

relevância deste capítulo deve-se ao fato de uma das contribuições desse trabalho é mostrar como implementar funcionalidades em SIG considerando o raciocínio espacial qualitativo.

No capítulo 4, os conceitos associados a relações de distância são discutidos em detalhes, juntamente com fatores que afetam direta ou indiretamente o raciocínio humano sobre estas relações. Também são tratados, neste capítulo, alguns mecanismos utilizados em SIG para lidar com relações de distância.

O capítulo 5, onde é apresentado o protótipo de um sistema capaz de lidar com relações de distância sob o ponto de vista do raciocínio espacial qualitativo, pode ser considerado o ponto central deste trabalho. Inicialmente, é abordado o modelo de dados utilizado, com suas principais classes e propriedades, como também, o ambiente no qual o protótipo foi desenvolvido. Finalmente, são discutidos detalhes da implementação do protótipo, que mostram como os fatores que interferem no conceito de distância.

O capítulo 6, destinado à conclusão, traz uma revisão dos objetivos da tese, quais suas principais contribuições no contexto dos SIG atuais e as perspectivas de alguns trabalhos futuros que poderão ser realizados.

Capítulo 2

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

Sistemas de Informações Geográficas (SIG) armazenam dados espacialmente referenciados, isto é, dados que podem ser identificados por sua localização, e provêem uma representação destes dados para que possam ser visualizados graficamente [39]. De forma mais ampla, podemos dizer que um SIG é um sistema de hardware, software, dados, pessoas, organizações e instituições combinados para armazenar, analisar e disseminar informações sobre áreas da Terra [18]. Talvez, esta seja a mais geral e completa definição de SIG.

Como todo sistema de informação, os SIG são um meio de armazenar e recuperar atributos de entidades e de fenômenos do mundo real. A particularidade dos SIG está na associação dessas entidades e fenômenos a uma localização da superfície terrestre. A representação do mundo real, buscando um nível de abstração que esteja próximo da forma como o ser humano lida com o espaço, é o grande desafio para SIG modernos.

A utilização da tecnologia SIG possui ampla abrangência, suportando diferentes tipos de dados e aplicações em várias áreas do conhecimento. Alguns exemplos destas aplicações são encontrados na otimização de tráfego, no controle cadastral, no gerenciamento de serviços de utilidade pública, na cartografia, nas administrações de recursos naturais, no monitoramento costeiro, no controle de epidemias, no planejamento urbano [8]. Novos mercados para SIG estão rapidamente surgindo. Muitas empresas buscam soluções baseadas em SIG quando percebem que estão lidando com informações de natureza espacial e que estas informações podem ser referenciadas espacialmente. O uso de SIG para gerenciamento de dados espaciais vem se tornando fator de competitividade decisivo. Um bom exemplo disso são algumas fábricas de veículos que estão projetando auxílio à navegação para motoristas. Elas estão entre as maiores forças no desenvolvimento de tecnologias apropriadas para lidar com dados geográficos [34]. Métodos cartográficos tradicionais de manuseio desses dados têm se tornado lentos e caros. Essa pressão econômica talvez seja o principal fator para a rápida expansão nas vendas de soluções e equipamentos relacionados a SIG.

Este capítulo busca abordar de forma geral os principais conceitos associados a SIG: arquitetura, aplicações, dados geográficos, representações, entre outros. As seções a seguir abordam brevemente estes conceitos. Para uma visão mais detalhada deles, recomendamos a leitura de [8, 9, 34, 53, 54].

2.1 Breve Histórico

O grande objetivo dos SIG é a manipulação de entidades que existem em um contexto espaço-temporal, isto é, entidades cuja existência está intimamente relacionada a sua localização e ao tempo. A forma mais antiga de apresentar e processar dados que representam esse tipo de entidades é através de mapas, cujos elementos são representados tendo a localização na superfície terrestre como referência segundo um sistema de coordenadas. Assim, os primeiros processamentos de dados georeferenciados ocorreram na década de 50, na Grã-Bretanha e nos Estados Unidos [8], com o objetivo de reduzir os altos custos da produção e atualização de mapas.

No Canadá, nos anos 60, surgiram os primeiros SIG propriamente ditos como parte de um plano estratégico do governo que visava o planejamento de recursos naturais e o uso do solo. A utilização de SIG para estes fins ia além da produção e manutenção de mapas.

Na década de 80, a redução dos custos com equipamentos e software fez com que o uso de SIG fosse difundido com a incorporação de muitas funções espaciais, deixando de ser privilégio de grandes corporações.

Em [9], é considerada a existência de três gerações de SIG. A tabela 2.1 apresenta resumidamente essas três gerações:

Tabela 2.1 : Evolução da tecnologia em SIG [8]

	1ª Geração	2ª Geração	3ª Geração
Tecnologia	CAD, Cartografia	BD, imagens	Sistemas distribuídos
Principal utilização	Desenho de mapas	Análise espacial	Centro de dados ¹
Ambiente operacional	Projetos isolados	Cliente-servidor	Multi-servidores
Sistemas	Pacotes separados	Sistema integrado	Interoperabilidade

A primeira geração é caracterizada por sistemas oriundos da cartografia. SIG desta geração possuem um limitado sistema de banco de dados e o objetivo principal é lidar com mapas.

¹ Centro de dados são unidades detentoras de informações geográficas que estão interligadas a outras unidades através de um sistema de comunicação. É capaz de permitir coleta, armazenamento, processamento, acesso e distribuição de dados [8].

Esses sistemas são utilizados em projetos isolados, por isso essa geração é também conhecida como sistemas orientados a projetos.

A segunda geração, que teve início na década de 90, já apresenta banco de dados geográficos, que era um banco de dados relacional acoplado a pacotes de processamento de imagens. SIG desta geração eram utilizados em ambientes cliente-servidor.

A terceira geração é caracterizada pela necessidade da interoperabilidade de dados em SIG, de maneira a permitir o acesso a informações espaciais por SIG distintos. Essa necessidade surgiu pelo crescimento dos bancos de dados geográficos e seu compartilhamento com outras instituições. Mais adiante, neste capítulo, veremos exemplos de padrões SIG disponíveis no mercado cujo objetivo está centrado na interoperabilidade de dados.

2.2 Componentes

Podemos encontrar definições de SIG sob diferentes perspectivas. Porém, todas elas apresentam SIG como sendo não meramente um software, mas o conjunto de todos os componentes associados para alcançar os objetivos a que ele se propõe, o que engloba: hardware, software, dados, pessoas, e instituições. No entanto, neste trabalho consideramos apenas software e dados dentro do escopo de SIG. Em [8] há várias definições para SIG onde cada uma delas prioriza aspectos distintos. A abordagem *toolbox*, por exemplo, considera SIG como um conjunto de ferramentas e algoritmos para manipulação de dados geográficos. Já o enfoque orientado a processos está baseado em SIG como conjunto de subsistemas integrados, onde dados espaciais são submetidos a uma seqüência de processos, tais como: coleta, armazenamento e manipulação. Apesar de diferentes abordagens, de uma forma geral, um SIG apresenta os mesmos conjuntos de componentes: interface com usuário; entrada e integração de dados; funções de processamento; visualização e plotagem; e armazenamento e recuperação de dados [8, 9, 42]. A figura 2.1 mostra os relacionamentos entre esses componentes.

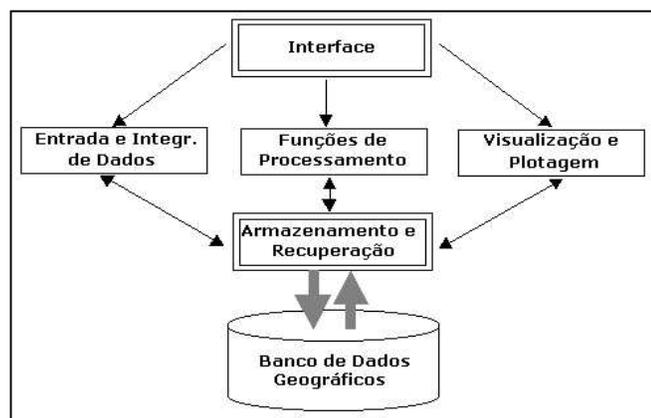


Figura 2.1: Componentes de um SIG [9]

Os primeiros tipos de interface foram as linguagens de comando, que embora apresentassem expressivo poder, tornam-se complexas quando se trabalha com muitas funcionalidades. Uma das maneiras de superar esse problema é a criação e utilização de macro-comandos, algo semelhante com os arquivos de comandos *batch* do sistema operacional DOS. O surgimento de interfaces baseadas em menus trouxe maior facilidade para operação, porém, menor expressividade.

Quanto à entrada de dados em SIG, existem quatro formas principais: caderneta de campo, digitalização em mesa, digitalização ótica e leitura de dados na forma digital. Vale ressaltar que diferentes mecanismos podem gerar uma heterogeneidade nos dados armazenado. Isto faz com que SIG sejam dotados de algoritmos de conversão para diferentes formatos.

As funções de processamento envolvem o tema central do nosso trabalho. Operadores para cálculo de distância, assim como demais funções que compõem um SIG, incluem: superposição, ponderação, medidas de área e perímetro. É importante lembrar que as funções de processamento são naturalmente dependentes dos tipos de dados envolvidos. Assim, o incremento de novas funcionalidades em um SIG impacta diretamente no seu sistema de armazenamento. No decorrer deste trabalho a questão do armazenamento será abordada com mais detalhe.

A forma como informações são visualizadas em SIG depende diretamente do modelo adotado para interface. Alguns SIG possuem recursos altamente sofisticados de apresentação gráfica.

Como pode ser percebido na figura 2.1, os componentes de um SIG se relacionam de forma hierárquica. A Interface define como o sistema é operado. No Nível intermediário, um SIG tem mecanismos de processamento de dados espaciais. E no nível mais interno, há um sistema que funciona de forma análoga a um SGBD convencional, provendo armazenamento e recuperação de dados espaciais.

Os principais componente de um SIG envolvidos em nosso trabalho coincidem com os componentes centrais da figura 2.1, isto é, os componentes interface com usuário, funções de processamento, armazenamento e recuperação de dados, terão maior relevância que os demais.

2.3 Aplicações

De acordo com [8, 9], atualmente as aplicações de SIG variam de acordo com determinados fatores, como:

- Extensão da área geográfica considerada – Um SIG pode abranger uma pequena área, como uma quadra urbana ou um bairro, ou o globo terrestre.

- Equipamento utilizado – Uma aplicação poderá utilizar desde um *mainframe* ou supercomputador até computadores pessoais.
- Abrangência – A aplicação pode ser de interesse particular ou de interesse global, envolvendo várias nações.

Uma classificação centrada no objetivo da aplicação é definida em [54]. As aplicações SIG são divididas nos seguintes grupos:

- Sócio-econômicas – Envolvem a utilização da terra, seres humanos e infra-estrutura existente.
- Ambientais – Estão voltadas para o meio ambiente e utilização de recursos naturais.
- Gerenciais – Abordam a realização de estudos e projeções que determinam onde e como alocar recursos para remediar problemas ou garantir a preservação de certas características.

A vantagem dessa classificação é que, geralmente, pela área de aplicação, pode-se determinar a utilização de certas escalas, fontes de dados e funções de análise, segmentando assim, diferentes tipos de SIG. As aplicações sócio-econômicas, por exemplo, são na maioria das vezes voltadas para grandes escalas (1:200 a 1:20.000). Já aplicações ambientais, são relacionadas a questões que envolvem escalas menores (1:20.000 ou menores), o que significa conseqüentemente menor precisão de medida. É importante ressaltar que nem sempre essa associação de grupo de aplicação e escala pode ser usada. Dependendo dos objetivos específicos da aplicação esta regra pode ser quebrada. Uma aplicação ambiental, por exemplo, pode abranger uma pequena região, o que exige o uso de grandes escalas.

O incremento de funcionalidades em SIG através da utilização de operadores capazes de prover relações de distância, que é o objetivo desse trabalho, atende praticamente a todas as classificações descritas anteriormente, uma vez que a questão distância está presente em todas elas.

2.4 Dados Geográficos

Como já abordado neste capítulo, um dado geográfico caracteriza-se pela sua referência espacial, por isso é também conhecido como dado geo-referenciado. Constitui-se basicamente de três componentes fundamentais: (1) características não-espaciais – têm a finalidade de descrever o fenômeno ou a entidade em questão. Supondo que o dado geográfico represente uma escola, as características não espaciais desse dado poderia ser o nome da escola, a quantidade de alunos e o seu logradouro ; (2) características espaciais – informam a localização do fenômeno ou entidade envolvida, ou seja, o geo-referenciamento do dado, estando associadas a propriedades geométricas e topológicas; (3) características temporais – Identificam o tempo em que o dado foi disponibilizado no SIG, como também, sua validade.

As características temporais são de grande importância quando a dimensão temporal possui relevância para a aplicação SIG. Na grande parte dos casos, a dimensão temporal é fixa, isto é, uma vez definido um conjunto de dados em determinado instante, raramente operações que envolvem variações temporais são executadas [8].

Neste trabalho, não daremos ênfase às características temporais do dado geográfico, embora reconheçamos a importância da variável tempo para SIG. Isto se deve ao fato de que a dimensão temporal adicionaria complexidade ao nosso trabalho sem estar diretamente associada ao cálculo das relações de distâncias entre as entidades ou fenômenos de uma aplicação SIG. Se, por exemplo, mensuramos a distância qualitativa entre dois objetos geográficos, os fatores a serem ponderados para levantarmos essa distância seriam os mesmos independente de qual ponto no tempo estamos tomando como referência. Dessa forma, é importante que esteja claro, que excluir o aspecto temporal não implica que o nosso trabalho não terá importância para aplicações que dependam da variação temporal.

Nas aplicações SIG há duas abordagens que visam modelar as entidades e fenômenos geográficos do mundo real. Essas abordagens são: o modelo de campos e o modelo de objetos [8, 9, 34].

O modelo de campos considera o mundo como uma superfície contínua, onde os fenômenos variam em diferentes distribuições. A formalização de um campo dá-se pela seguinte função matemática:

$$\begin{aligned} \varphi: p \rightarrow v, \text{ onde} & \qquad \qquad \qquad (i) \\ p \in \{\text{pontos que formam uma região } R\} \text{ e} & \\ v \in \{\text{valores que podem ser associados } R\} & \end{aligned}$$

O domínio é uma abstração da região geográfica e o contradomínio é o conjunto de valores que o campo pode tomar. Caso se deseje tratar o aspecto temporal do campo, basta considerar como domínio da função o conjunto de pares (p,t) . A função seria:

$$\begin{aligned} \varphi: (p,t) \rightarrow v, \text{ onde} & \qquad \qquad \qquad (ii) \\ t \text{ corresponde a um valor de tempo} & \end{aligned}$$

Um campo, definido para representar a variação de temperatura de uma região, será modelado como uma função cujo domínio é uma abstração da região e cujo contradomínio é um conjunto de valores ou intervalos de valores de temperatura. Esta abordagem enfatiza a descrição da variação do fenômeno geográfico sem se preocupar com a identificação das entidades independentes [8].

O modelo de objetos representa um mundo onde objetos são identificados pela sua geometria e características próprias. Esses objetos não são obrigatoriamente associados a um fenômeno geográfico específico, como ocorre com o modelo de campos. Objetos distintos podem inclusive ocupar a mesma localização geográfica [34]. Outro importante fator de distinção entre campos e objetos é a questão da identidade. Existem, por exemplo, várias regiões do Brasil cuja temperatura oscila entre 30°C e 40°C – valor de campo, porém só há uma cidade Teresina – objeto identificado.

Conceitos associados a campos e a objetos são fundamentais para que seja compreendido como os SIG lidam com entidades e fenômenos geográficos do mundo real. Pelo que foi exposto até aqui, é compreensível que haja alguma dúvida quanto ao nível de abstração desses modelos sobre o mundo real. Nas seções seguintes, principalmente na seção 2.6.1, veremos que as abordagens de campos e objetos estão presentes nos vários níveis de abstração de uma aplicação SIG.

2.5 Tipos de Representação

A questão da representação do dado geográfico faz com que a concepção de um modelo para dados geográficos seja muito diferente das concepções de modelos tradicionais. Isto porque a representação varia conforme a perspectiva do usuário ou aplicação, ou segundo fatores meramente técnicos. O que significa que diferentes representações coexistem para um mesmo campo ou objeto. Por exemplo, a cidade de Teresina pode ser representada de forma diferente por especialistas em saúde, empresas de telecomunicação, topógrafos ou ecologistas. Neste caso, diferentes representações para a cidade de Teresina atenderão diferentes tipos de usuários. Um exemplo de um fator técnico exigir coexistência de diferentes representações é o caso de aplicações que lidam com diferentes níveis de resolução. Teresina, por exemplo, pode ser considerada uma região atômica quando a aplicação objetiva calcular sua distância entre diferentes cidades do Piauí. Por outro lado, pode ser composta por um conjunto de entidades quando o objetivo é saber o nível de escolaridade dos habitantes em seus diferentes bairros.

Na implementação de um SIG, gerenciar várias representações é um aspecto que deve ser considerado em vários níveis: Apresentação ou interface, modelagem e estrutura de dados. Vários problemas estão presentes em cada um destes níveis, como: redundância de dados, consistência e multiplicidade de comportamento de um mesmo campo ou objeto, em função de suas representações [9]. Além disso, uma representação pode ser explicitamente armazenada em um banco de dados ou calculada a partir de outra representação.

Campos são freqüentemente representados no formato matricial, isto é, através de uma matriz cujos elementos são unidades poligonais do espaço - células. Para cada célula há um valor do campo representado, não podendo haver valores distintos para uma mesma célula.

O termo *raster* denomina células retangulares, no entanto na maioria das vezes é usado como termo genérico para representação matricial. Outros formatos de células são triângulos e hexágonos. De acordo com Chrisman [12], um dos motivos para a popularização da estrutura *raster* foi a natureza celular dos tubos de raios catódicos dos televisores, também encontrados em sensores remotos e impressoras. Além do mais, a estrutura *raster* pode ser facilmente implementada com a estrutura de dados elementares disponíveis em várias linguagens de programação.

A outra forma de representação associada a objetos geográficos é o formato vetorial. O que gera a famosa dicotomia presente no universo dos SIG: *raster* versus *vector*. O formato vetorial caracteriza-se pela representação geométrica do objeto através de pontos, linhas e polígonos. Linhas são formadas por seqüência de pontos; e polígonos são formados por seqüência de linhas. A realização de operações entre as entidades e fenômenos geográficos é muito comum neste modelo. Estas operações podem ser topológicas ou métricas. Vale ressaltar que representações vetoriais podem possuir diferentes níveis de representação. Por exemplo, representações não-estruturadas se restringem a armazenar listas de coordenadas sem qualquer preocupação com otimização do processamento. Já representações topológicas permitem armazenar, associada à localização, informação sobre relacionamentos entre os elementos armazenados.

A representação vetorial é mais eficiente no tratamento de relações entre objetos geográficos. Dessa forma, a representação vetorial ocupará lugar de destaque neste trabalho, visto que o nosso enfoque é justamente o tratamento de relações de distância entre objetos geográficos.

2.6 Padrões de Modelos de Dados

Um modelo de dados, de acordo com [20] é uma coleção de conceitos que podem ser usados para descrever a estrutura de um banco de dados, provendo meios necessários para se chegar a esta abstração. Um modelo de dados deve ser capaz de fornecer ferramentas para descrever a organização lógica do banco de dados, como também, definir as operações de manipulação de dados [20]. Quando bem conduzida, a modelagem produz uma visão abstrata da realidade que satisfaz os requisitos da aplicação.

A abordagem da orientação a objetos está fortemente presente em aplicações SIG, pois apresenta as características que melhor se adequam aos modelos de dados geográficos [14] [38, 39, 60]. Prover alto nível de abstração para lidar com dados geográficos é uma dessas características. Além do mais, um SIG combina tanto requisitos para apresentação gráfica da informação como requisitos para um complexo gerenciamento de dados. A abordagem orientada a objetos é reconhecidamente uma tecnologia apropriada para alcançarmos ambos requisitos [38]. Por este motivo, nosso trabalho está fortemente orientado ao conceito de objetos no referente à modelagem de dados.

Resumidamente, podemos definir um objeto como uma instância de uma classe que é caracterizada por seu estado, representado por um conjunto de valores de atributos, e comportamento, representado por um conjunto de operações ou métodos que podem ser aplicados. Quando um objeto é composto por outros objetos é chamado de objeto complexo. Objetos que não são complexos são denominados de objetos simples. As classes são estruturadas em hierarquia de herança, onde a uma classe podem estar relacionadas subclasses ou superclasses. Subclasses são “filhos” de uma classe e superclasses são “pais”. Os filhos de uma classe “herdam” a estrutura e comportamento da classe mãe

correspondente. Para maior aprofundamento na abordagem orientada a objetos, recomendamos a leitura de Rumbaugh [72].

A modelagem de dados em SIG possui os mesmos objetivos e segue os mesmos princípios da modelagem em sistemas convencionais. Porém, o aspecto espaço-temporal associado ao dado geográfico traz muitas particularidades à modelagem em SIG. Além do mais, a necessidade de interoperabilidade de diferentes plataformas nos dias atuais, faz com que os modelos de dados sigam padrões preestabelecidos.

Padrões para SIG visam facilitar a integração e a transferência de dados. Estes padrões geralmente englobam padrões para linguagens de especificação, transferência de dados, geocodificação e documentação de metadados e formatos. Além destes, padrões para qualidade de dados e bibliotecas de objetos espaciais estão surgindo também. Outro aspecto importante diz respeito ao tipo de comunidade que um padrão busca abranger. Há padrões para SIG definidos com abrangências internacional, nacional, federal, industrial ou para um público específico. Alguns são legalmente estabelecidos, outros são adotados por consenso por alguma comunidade. Veremos nas seções 2.6.2 e 2.6.3 uma breve descrição de dois importantes padrões adotados internacionalmente – o padrão SAIF e o padrão OpenGIS.

2.6.1 Níveis de Especificação

Considerar modelo de dados em diferentes níveis de especificação é uma boa estratégia para conduzir o processo de modelagem em SIG. De acordo com Gilberto Câmara [8, 9] essa estratégia de especificação identifica quatro níveis de abstração:

- Nível do mundo real – O nível do mundo real contém os elementos da realidade a ser modelado, como, vegetação, rede de saneamento, temperatura, edificações.
- Nível conceitual – O nível conceitual comporta campos e objetos formalmente modelados em um alto nível de abstração.
- Nível de representação – O nível de representação relaciona as classes de campos e objetos identificadas no nível conceitual a classes de representação, que podem variar de acordo com a escala, projeção cartográfica escolhida, data de aquisição do dado, ou mesmo de acordo com a visão do usuário.
- Nível de implementação - O nível de implementação, também conhecido como nível físico ou interno, define padrões, formas de armazenamento e estrutura de dados para implementar as diferentes apresentações.

A concepção de níveis de especificação é muito útil para que possamos entender que um campo ou objeto é formalmente especificado no nível conceitual e associado a diferentes representações, onde cada uma delas pode ser armazenada em várias estruturas físicas. Como entender, também, que as dicotomias de modelagem, campos versus objeto, e de representação, matricial versus vetorial, podem ser equacionadas da melhor maneira.

Esse enfoque de múltiplos níveis de modelagem de dados indica de forma clara que a interface de um SIG deve refletir o nível conceitual bem próximo da realidade do usuário, ocultando ao máximo detalhes de representação e implementação. Isso torna o usuário desobrigado a entender problemas de implementação e mais voltado aos conceitos abstratos do mundo real. Permite também a especificação de operações de diversos tipos para o mesmo objeto conceitual, que podem variar conforme o tipo de representação adotada.

Se os níveis de especificação descritos aqui forem comparados com os níveis de abstração da arquitetura ANSI-SPARC [20], encontramos muitas semelhanças. O nível conceitual e de implementação, por exemplo, são os mesmos, porém o nível de representação não tem correspondente naquela arquitetura, pois o problema de representação múltipla dificilmente ocorre em aplicações convencionais [8]. A passagem do mundo real para o mundo conceitual depende do domínio da aplicação e a passagem do nível conceitual para o nível de representação, de decisões técnicas detalhadas.

A seguir são apresentados dois padrões para aplicações SIG: o SAIF e o OpenGIS. Ambos os padrões se utilizam do modelo de objetos para modelagem de dados geográficos em diferentes níveis de abstração. Há vários outros padrões disponíveis, cada um deles atendendo objetivos específicos. O padrão ISO SQL3, por exemplo, está voltado para a sintaxe e semântica de linguagens de consulta espaciais. O STDS [81] é um padrão para transferência de dados espaciais entre diferentes sistemas computacionais, especificando construtores² de troca, formato de endereçamento, estrutura e conteúdo para dados georeferenciados vetoriais e matriciais. Em [80] são especificados diversos níveis para troca de dados, são eles: aplicação; *middleware*; sintaxe e semântica de uma linguagem; objetos complexos; formato de dados. Neste modelo, os padrões SQL3 e SAIF se situariam no primeiro nível, o OpenGIS no nível *middleware* e o STDS nos três últimos. A escolha de uma exposição mais detalhada para o SAIF e OpenGIS, principalmente, deve-se ao fato de que foram os padrões que mais influenciaram na escolha do nosso modelo de dados, que é discutida no capítulo 5.

2.6.2 O Padrão SAIF

O padrão SAIF [74] centra sua proposta em uma linguagem para especificação e troca de dados. Baseado no modelo de orientação a objetos, o SAIF incorpora conceitos de identidade, generalização, agregação, herança e associações simples entre objetos. Porém, não contempla especificação de métodos.

O SAIF trata separadamente representações de fenômenos do mundo real e representações do espaço e tempo em que esses fenômenos existem. Representações de fenômenos do mundo real são denominadas de objetos geográficos e podem ter vários relacionamentos entre si. São exemplos de objetos geográficos: rios, medidas de temperatura, área de tipos

² Construtores são classes das quais novas classes podem ser criadas

de vegetação, rodovias. Exemplos de relacionamentos entre esses objetos são, por exemplo, rodovias que cruzam rios, vegetação predominante em uma dada temperatura, rios que possuem afluentes, e assim por diante. A posição de cada fenômeno no espaço é representada por um objeto espacial. Caso espaço e tempo sejam considerados, a posição é representada por um objeto espaço-temporal.

Algumas classes construtoras geográficas básicas são oferecidas pelo modelo SAIF, como por exemplo, classes espaciais, temporais, geométricas, classes para relacionamentos explícitos, classes para metadados, classes para definição de estrutura de tipos, dentre outras. A seguir, são descritas brevemente algumas dessas classes.

- *GeographicObjects* – Seus objetos representam algum fenômeno do mundo real. A localização no espaço e no tempo desses objetos é estabelecida através de relacionamentos de objetos das classes *SpatialObject* e *SpatialTemporalObject*. Novas classes podem ser criadas por especializações. *GeographicObjects* já possui algumas subclasses padrão, como: *SpatialDataSet*, *Coverage*, *Graph* e *GeographicComposite*.
- *SpatialReferencing* – Objetos dessa classe guardam informações sobre sistema de coordenadas referentes a uma projeção horizontal e a definição de um valor vertical, e sobre um sistema de referências geodésicas.
- *SpatialObject* – Um Objeto dessa classe, por ter informações puramente geométricas, relaciona-se com um objeto da classe *GeographicObjects* e um da classe *SpatialReferencing*.
- *GeometricObject* – Objetos dessa classe representam abstrações matemáticas, como pontos, linhas, polígonos e tetraedros.
- *TimeObject* – Seus objetos representam um determinado tempo, uma data, um intervalo de tempo ou uma coleção desses valores.
- *TemporalObject*, *TemporalReferencing* e *SpatialTemporalObject* – Representa a referência temporal que deve ser fornecida quando existe objeto da classe *TimeObject*.
- *Annotation* - Esta classe permite que textos e símbolos sejam espacialmente referenciados. A estrutura dos objetos da classe *Annotation* é semelhante aos da classe *SpatialObject*.
- *SpatialRelationship* e *TemporalRelationship* – Um objeto dessa classe permite a definição explícita de relacionamentos espaciais e temporais entre objetos, o que oferece uma variedade de associações métricas, topológicas e temporais.

A figura 2.2 apresenta graficamente para as classes e associações apresentadas, segundo a notação OMT [72]. Vale ressaltar, que embora reconheçamos a notação UML [73] como mais apropriada para a construção de diagramas de classes, mantivemos a notação OMT para que as figuras oriundas de referências não fossem modificadas.

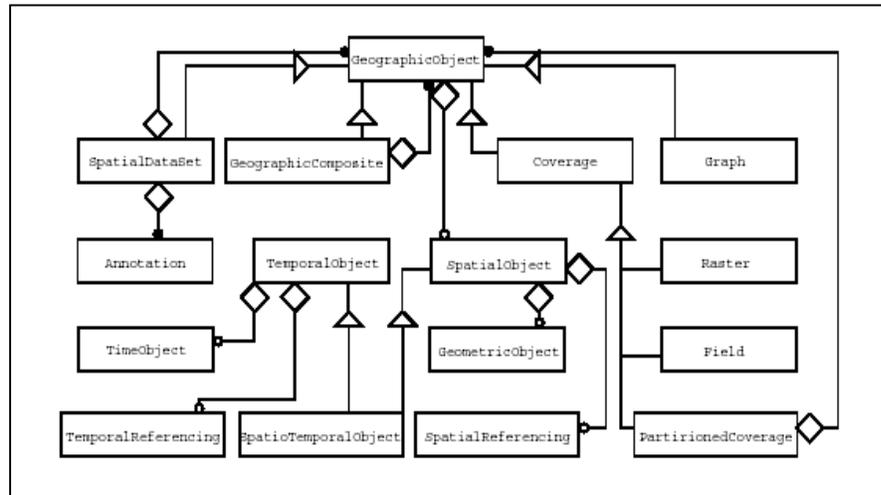


Figura 2.2 Modelo de dados SAIF (Parcial) [8]

Para obtenção de maiores detalhes sobre o padrão SAIF, recomendamos consultas a [74].

2.6.3 O Padrão OGIS

OpenGIS – *Open Geodata Interoperability Specification* [60, 61], é uma organização representada por um consórcio sem fins lucrativos dedicada a sistemas de geoprocessamento abertos. O consórcio OpenGIS tem como meta a total integração de dados geoespaciais e fontes de geoprocessamento e a difusão do uso de aplicações interoperáveis de geoprocessamento através de uma infra-estrutura global de informação. Dessa forma, a arquitetura da especificação do consórcio OpenGIS, que chamaremos de OGIS (*OpenGIS Interoperability Specification*) no decorrer deste trabalho, engloba plataformas computacionais distribuídas, armazenamento de dados, serviços e aplicações.

O principal objetivo do OGIS é prover uma plataforma para desenvolvedores de aplicações SIG que permita que os usuários dessas aplicações acessem e processem dados geográficos de uma variedade de fontes através de interfaces computacionais genéricas de tecnologia aberta. É importante notar que OGIS é um modelo operacional, não um padrão de dados [41, 60, 61].

O modelo de dados definido pelo OGIS fornece um conjunto de dados primitivos que permitem que quaisquer sistemas de geoprocessamento se comuniquem entre si através de uma interface comum. De acordo com o OGIS, um modelo de dados unificado deve atender vários requisitos, tais como: ser independente de linguagem de programação, de hardware e da tecnologia de rede; ser de acordo com o modelo de características da Terra; suportar todos os possíveis paradigmas de aplicações SIG; suportar dimensão temporal; prover interface bem definida para troca de dados geográficos; prover definição não ambígua de tipos de dados geométricos básicos; entre outros.

Através das atividades de membros do consórcio OpenGIS, modelos essenciais e modelos de especificação são desenvolvidos. O Modelo Essencial em conjunto com o Modelo de Especificação formam a chamada Especificação Abstrata. O ambiente OGIS é formado por três partes, que são:

- *Open Geodata Model* – Apresenta uma representação digital da terra e dos seu fenômenos, de uma forma matemática e conceitual .
- *OGIS Services Model* – Modelo comum de especificação para implementação de serviços de acesso a geodados, gerenciamento, manipulação, representação e compartilhamento entre comunidades de informação.
- *Information Communities Model* – Provê um modelo para a utilização dos dois modelos anteriores para que problemas técnicos da interoperabilidade de dados sejam resolvidos.

As últimas edições dos guias e documentos técnicos do comitê OpenGIS [60, 61, 62] suprimem referências isoladas aos modelos *Open Geodata Model* e *OGIS Services Model*. O Modelo Essencial engloba esses dois modelos. A ênfase ao Modelo Essencial surgiu da necessidade de um *framework* com níveis de abstração mais detalhados onde tecnologias pudessem ser desenvolvidas. No entanto, o termo *Open Geodata Model* (OGC) ainda é relevante e referências a ele serão feitas neste trabalho.

A eficácia do Modelo Essencial OGIS é a chave para o desenvolvimento de especificações de implementações para o OpenGIS. O Modelo Essencial descreve nove níveis de abstração:

- Mundo Real – Representa o mundo como ele é, em toda a sua complexidade.
- Mundo Conceitual – Mundo no qual elementos que reconhecidos e nomeados.
- Mundo Geoespacial – Mundo dos mapas e dos SIG, no qual elementos específicos são selecionados no mundo conceitual para serem representados de forma abstrata e simbólica em mapas e dados geográficos.
- Mundo Dimensional – É o mundo Geoespacial depois de ter sido mensurado e dado a ele uma precisão geométrica e posicional.
- Mundo Projetado – Representa uma parte do mundo Dimensional, como por exemplo, uma camada de um certo tema de um SIG. É estruturado de acordo com um propósito.
- Pontos OpenGIS – Representa como pontos são definidos, de uma forma genérica e para um mundo projetado, de maneira tal que outras aplicações possam se relacionar.
- Geometria OpenGIS – Define como a geometria é construída baseada nos Pontos.
- Objeto (*Feature*³) OpenGIS – Representa como objetos geográficos são construídos a partir de sua geometria, de seus atributos e em um sistema de referência.

³ Podemos encontrar, em alguns trabalhos de autores nacionais, o termo *feature* das especificações OpenGIS [60][62], traduzido como feição. Neste trabalho, consideramos o termo objeto geográfico, ou simplesmente objeto como tradução de *feature*.

- Coleção Objetos OpenGIS – Representa como os Objetos OpenGIS são gerenciados em coleções.

Os primeiros cinco níveis lidam com a abstração de fatos do mundo real. Os quatro níveis finais lidam com modelos simbólicos e matemáticos do mundo, e desta forma, diferentemente dos cinco primeiros, são modelados na aplicação SIG.

Todo sistema de geoprocessamento tem um modelo de dados geográficos que serve de guia para representações digitais de fenômenos da Terra. O *Open Geodata Model* [61] é um modelo de dados geográficos universal que possibilita a interoperabilidade através de interfaces que são especificadas de acordo com a necessidade da aplicação. O OGC está relacionado aos elementos do Modelo Essencial que enfoca o dado, como: geometria, sistema de referência espacial, transformações, formas, topologia, entre outros.

A melhor maneira para uma boa compreensão da Especificação abstrata OpenGIS é a análise dos níveis finais do Modelo essencial: Objetos e Coleção de Objetos OpenGIS. Uma Coleção de Objetos OpenGIS é a unidade básica e atômica do comércio de informações geoespaciais no ambiente computacional. É o menor item geoespacial que é negociado. É o objeto primário de manipulação e acesso em um ambiente de processamento de aplicações geoespaciais.

Um Objeto OpenGIS pode ser definido recursivamente, podendo ser definido de acordo com a granularidade requerida conforme a aplicação. Alguns exemplos de objetos são: segmentos de estrada entre interseções; uma rodovia formada de muitos segmentos de estradas; uma imagem de satélite georeferenciada; uma camada representando temperatura em um mapa climático; um pixel⁴ de uma imagem de satélite georeferenciada, entre muitos outros. Objetos OpenGIS são abstrações de objetos e fenômenos do mundo real codificados de forma digital que possuem representação geométrica, referências espaço/temporal e outros atributos. São criados, gerenciados, acessados, manipulados e intercambiados pelos serviços OpenGIS definidos através do *OGIS Services Model* [61].

Uma Coleção de Objetos pode conter um objeto simples ou muitos objetos e não há limitações quanto a natureza da informação contida. O tamanho de uma Coleção de Objetos pode variar em um grande intervalo de valores. Dependendo do contexto, pode conter de um pixel, ou um simples ponto, a muitos *terabytes* de dados. Um Objeto é formado de três elementos básicos:

- Geometria – Associada a um sistema de referência espacial e/ou temporal, engloba modelos, a resolução e precisão de um modelo geométrico. A especificação abstrata OpenGIS lida com geometria independentemente da representação usada por aplicações específicas.
- Propriedades Semânticas – Corresponde à definição da entidade ou fenômeno. Diferentemente da geometria, que não varia de uma comunidade usuária para outra, a semântica pode variar da mesma forma que a visão conceitual varia.
- Metadados – Representa a informação necessária para posicionar um fenômeno no contexto do ambiente da aplicação ou comunidade usuária. Metadados são um

⁴ Abreviação de *Picture Element*. Representa menor elemento de uma imagem.

subconjunto das propriedades de um Objeto, ou de uma coleção de Objetos. A complexidade do metadado deve variar de acordo com os requisitos da aplicação.

A figura 2.3 descreve o modelo de objeto para geometria na notação OMT [72]. A classe básica Geometria possui subclasses para pontos, curvas, superfícies e coleções geométricas. Cada objeto geométrico está associado com um sistema de referência espacial, que descreve as coordenadas espaciais em que o objeto está definido [62].

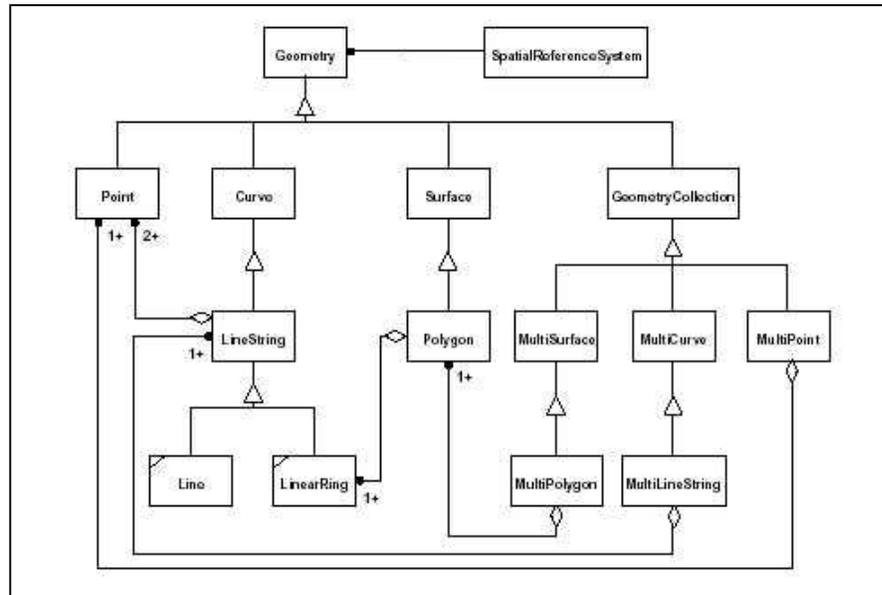


Figura 2.3 Hierarquia da classe Geometria [62]

Neste capítulo, muitas referências já foram feitas aos termos entidade e fenômeno geográfico. Podemos considerar esses dois termos como as duas grandes categorias nas quais se acomodam todos os elementos geográficos da especificação abstrata OpenGIS. Entidades são objetos discretos que possuem fronteiras relativamente bem definidas, como por exemplo, edificações, automóveis, terrenos, e assim por diante. Fenômenos variam sobre espaço e não têm extensão espacial bem definida. Um fenômeno chamado temperatura, por exemplo, possui significado apenas em um ponto no espaço, onde terá um valor específico.

Fenômenos e entidades não são mutuamente exclusivos. Muitos componentes do mundo real poderão ser tanto um quanto outro. Tomemos como exemplo um rio, que pode ser uma entidade quando o relevante para a aplicação é obter informações sobre o seu curso, como também um fenômeno quando se deseja mensurar as variações de profundidade no seu leito.

Os dois tipos geográficos reconhecidos na especificação OpenGIS são Objetos e Coberturas. Como já abordado anteriormente, Objetos são comumente representações de entidades do mundo real. Possui um domínio espacial e/ou temporal como atributo. Coberturas é uma associação de pontos dentro de um domínio espaço-temporal a um valor de um tipo de dados definido. Ou seja, em uma cobertura, cada ponto está associado a um valor simples ou complexo. Coberturas quase sempre representam fenômenos. Uma

cobertura pode ser derivada de uma coleção de objetos à medida que atributos dos objetos que compõem a coleção representam o valor associado à localização daquele ponto.

As especificações OpenGIS representam hoje uma forte ferramenta na busca da interoperabilidade entre aplicações SIG, além de prover um padrão abrangente e com alto nível de detalhamento para o desenvolvimento dessas aplicações. Para especificação do nosso modelo de dados utilizado nesse trabalho a especificação OpenGIS nos proveu enorme contribuição, à medida que nos serviu de importante referência.

2.7 Conclusão

Este capítulo apresentou de forma breve os conceitos centrais relacionados a SIG. Para um entendimento mais aprofundado destes conceitos há uma vasta bibliografia disponível. A abordagem simples e sintética deste capítulo busca tanto prefaciá-los estudos mais aprofundados, como também, gerar os subsídios necessários para o entendimento deste trabalho. Compreender a organização, arquitetura e funcionalidades de um SIG foi pré-requisito para que os objetivos almejados por este trabalho pudessem ser alcançados.

Capítulo 3

Teoria do Raciocínio Espacial Qualitativo

Neste capítulo, os principais aspectos relacionados com a teoria do raciocínio espacial qualitativo, cuja análise é muito relevante para este trabalho, são discutidos. Para isto, inicialmente, fazemos uma breve introdução ao raciocínio espacial qualitativo, discorrendo sobre sua importância, e nas seções seguintes abordamos alguns modelos qualitativos para tratamento de relações espaciais, como também, protótipos de sistemas que incorporam o raciocínio espacial qualitativo e suas funcionalidades.

3.1 Introdução

Seres humanos raciocinam de maneiras distintas, e em muitas situações, sobre o espaço e propriedades espaciais. Poderíamos aqui apresentar vários exemplos, que vão desde situações do nosso dia a dia, como descobrir o menor caminho entre nossa casa e determinada localidade, até situações que requerem tomadas de decisões estratégicas, como decidir onde construir uma montadora de automóveis ou construir um aterro sanitário. São tão diversas e freqüentes as situações que envolvem o raciocínio espacial, que praticamente não percebemos a sua devida importância, e por isso, muitas vezes não seja reconhecido como um caso especial de raciocínio [33].

Na busca de encontrar respostas para questões que envolvam o espaço, muitas vezes lidamos com informações incompletas e imprecisas, no entanto, obtemos respostas satisfatórias pela nossa capacidade intuitiva de percepção do espaço. Esta é uma das razões pelas quais técnicas de raciocinar sobre espaço de forma quantitativa se revelam inadequadas para lidarmos com questões espaciais. Alguns estudos, baseados na cognição humana, sugerem que o espaço cognitivo não é quantitativo [26, 57, 68]. Dessa forma, para que sejam incorporados ao raciocínio espacial, mecanismos e teorias para lidar com o espaço em um alto nível de abstração, é necessário que estudos sejam realizados sob o

ponto de vista da cognição. É neste contexto que surge o raciocínio espacial qualitativo como ponto de grande importância a ser pesquisado.

O raciocínio espacial qualitativo tem despertado grande interesse para realização de pesquisas, por ser uma alternativa real para substituir ou complementar métodos geométricos quantitativos para lidar com objetos e fenômenos espaciais. O grande desafio do raciocínio espacial qualitativo é prover mecanismos de cálculo que permitam que as máquinas representem e lidem com entidades espaciais sem ter que recorrer a técnicas quantitativas tradicionais [17].

Representações qualitativas de objetos e fenômenos geográficos são caracterizadas por fazer apenas as distinções necessárias em um domínio de possibilidades para determinado cenário [37, 45]. Tomemos como exemplo alguém que deseja obter a informação se uma determinada escola está perto ou longe de sua residência. Medidas precisas de distância não interessam, uma vez que o resultado da questão está contido em um domínio de apenas duas possibilidades (i.e. perto ou longe). Representações espaciais qualitativas têm sido direcionadas para muitos diferentes aspectos espaciais, incluindo topologia, orientação, forma, tamanho e distância.

O raciocínio espacial qualitativo é um aspecto fundamental para os SIG atuais e, por isso, vários estudos estão sendo realizados neste sentido [23, 26, 33, 46, 83]. Os principais pontos pesquisados estão relacionados com mecanismos capazes de realizar inferências baseadas em propriedades espaciais, de forma análoga ao modo como as pessoas inferem sobre estas propriedades. Modelos detalhados na seção seguinte provêm informações qualitativas como relações topológica, de direção e distância [1, 33, 35, 66]. Modelos como estes compõem a base para possíveis utilizações do raciocínio espacial qualitativo pelos SIG atuais.

3.2 Modelos Qualitativos de Relações Espaciais

O espaço geográfico possui muitos aspectos, e conseqüentemente, muitas possíveis representações. Isto faz com que haja múltiplas maneiras de descrever relações entre entidades que compõem o espaço geográfico. Estas relações podem ser, por exemplo, topológicas ou de distância. Neste sentido, esta seção discute alguns modelos que objetivam representar relações espaciais. Primeiramente, apresentamos modelos referentes a relações topológicas e em seguida, modelos associados a relações de distância e direção.

3.2.1 Modelos para Relações Topológicas

Topologia é talvez o aspecto mais fundamental de espaço geográfico[15], e constitui um aspecto fundamental do raciocínio espacial qualitativo. Isto faz com que as relações topológicas tenham uma importância destacada nos modelos espaciais de representação de objetos e fenômenos geográficos.

Region Connection Calculus

O *Region Connection Calculus* (RCC), é um modelo de representação e raciocínio sobre relações topológicas entre regiões espaciais [66]. Regiões espaciais no RCC são subconjuntos de espaços topológicos que podem ser constituídos de várias partes desconectadas. Diferentes relações entre estas regiões espaciais podem ser definidas com base na relação binária *conectada* $C(a,b)$, lida como “ a se conecta com b ”, que é verdadeira se os interiores das regiões espaciais a e b possuírem algum ponto em comum. Graus de conexões são permitidos entre a e b . O maior grau representa que as regiões são idênticas, e o grau menor que as regiões se conectam apenas externamente. Com base na relação $C(a,b)$ outras relações são definidas:

- $DC(a,b)$ – a está desconectada de b ;
- $P(a,b)$ – a é parte de b ;
- $PP(a,b)$ – a é própria parte de b ;
- $EQ(a,b)$ – a é idêntica a b ;
- $O(a,b)$ – a sobrepõe b ;
- $DR(a,b)$ – a é discreta de b ;
- $PO(a,b)$ – a sobrepõe parcialmente b ;
- $EC(a,b)$ – a está externamente conectada a b ;
- $TPP(a,b)$ – a é tangencial e própria parte de b ;

A figura 3.1 ilustra estas relações, evidenciando o aspecto da continuidade da transição entre elas. Este diagrama, definido em [16], sugere que novas relações podem surgir a partir de refinamentos [15].

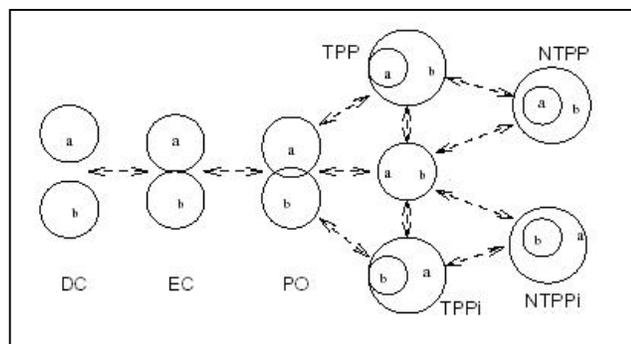


Figura 3.1: Relações de conexão entre regiões espaciais [16]

Como pode ser observado, a maioria das relações são simétricas, exceto TPP e NTPP. Estas últimas, não sendo simétricas, suportam relações inversas que são denotadas por TPP^{-1} e $NTPP^{-1}$, respectivamente. A teoria que abrange as seguintes oito relações DC, EC, PO, EQ, TPP, NTPP, TPP^{-1} e $NTPP^{-1}$, é chamada de RCC8. Um ponto interessante que merece ser destacado é que estas relações são mutuamente exclusivas, o que significa que duas regiões não podem ser representadas por mais de uma relação do modelo RCC8.

Esta abordagem que fazemos do modelo RCC8, é apenas introdutória. Existem muitas extensões deste modelo para atender a variados propósitos. Para mais detalhes do modelo de representação RCC8, recomendamos a leitura de Cohn [16].

4-Intesection Model

Este modelo, que pode ser traduzido como modelo das quatro interseções é baseado em relações entre dois conjuntos de pontos em um espaço topológico. Neste modelo, relações topológicas são obtidas através da computação de interseções entre fronteira-fronteira, interior-interior, interior-fronteira e fronteira-interior destes conjuntos de pontos. A fronteira e o interior de um conjunto de pontos não possuem nenhum ponto em comum, e a união da fronteira com o interior representa a totalidade do conjunto de pontos que representam um objeto geográfico.

Relações espaciais entre dois objetos são definidas através de uma matriz de interseção que contém as entradas \emptyset (vazio) ou $\neg\emptyset$ (não vazio) para cada uma das interseções entre as fronteiras, representadas por ∂ , e os interiores representados por $^{\circ}$.

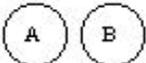
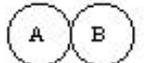
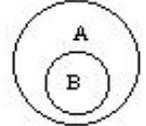
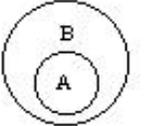
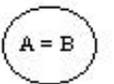
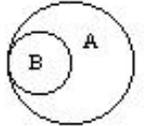
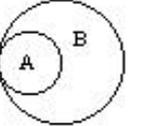
 $\begin{matrix} E^{\circ} & \partial B \\ A^{\circ} & \begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \emptyset \end{pmatrix} \\ \partial A & \end{matrix}$ <p>DISJUNTO</p>	 $\begin{matrix} E^{\circ} & \partial B \\ A^{\circ} & \begin{pmatrix} \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \\ \partial A & \end{matrix}$ <p>ENCONTRA</p>	 $\begin{matrix} E^{\circ} & \partial B \\ A^{\circ} & \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \emptyset \end{pmatrix} \\ \partial A & \end{matrix}$ <p>CONTÉM</p>	 $\begin{matrix} E^{\circ} & \partial B \\ A^{\circ} & \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \emptyset \\ \neg\emptyset & \emptyset \end{pmatrix} \\ \partial A & \end{matrix}$ <p>ESTÁ CONTIDO</p>
 $\begin{matrix} E^{\circ} & \partial B \\ A^{\circ} & \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \emptyset \\ \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \\ \partial A & \end{matrix}$ <p>IGUAL</p>	 $\begin{matrix} E^{\circ} & \partial B \\ A^{\circ} & \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \\ \partial A & \end{matrix}$ <p>COBRE</p>	 $\begin{matrix} E^{\circ} & \partial B \\ A^{\circ} & \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \\ \partial A & \end{matrix}$ <p>COBERTO POR</p>	 $\begin{matrix} E^{\circ} & \partial B \\ A^{\circ} & \begin{pmatrix} \neg\emptyset & \neg\emptyset \\ \neg\emptyset & \neg\emptyset \end{pmatrix} \\ \partial A & \end{matrix}$ <p>SOBREPÕE</p>

Figura 3.2: Relações topológicas entre regiões [22]

Baseado nas quatro interseções entre fronteiras e interiores de dois conjuntos de pontos, este modelo define dezesseis relações entre conjuntos de pontos aleatórios, uma vez que cada interseção pode ter como resultado vazio ou não vazio (i.e. $4^2 = 16$). No entanto, dezesseis relações não são possíveis para regiões simples. A figura 3.2 apresenta todas as relações possíveis entre estas regiões para o modelo das quatro interseções. Como pode ser observado, não é possível, por exemplo, uma relação onde interiores se interceptam e as interseções que envolvem fronteiras sejam vazias.

9-Intesection Model

Uma extensão do modelo das quatro interseções é o modelo das nove interseções, definido por Egenhofer em [22]. Este modelo considera, além dos interiores e fronteiras dos objetos das relações, conjuntos de pontos que estão contidos no exterior dos objeto. Para o objeto A, este conjunto de pontos é denotado por A^{-1} . Dessa forma, ∂A , A° e A^{-1} são mutuamente exclusivos. Apesar deste modelo ser normalmente vinculado a objetos representados por polígonos, ele também trata pontos e linhas. A matriz contendo as nove interseções será composta pelos termos conforme apresentado a seguir.

$$I_n(A, B) = \begin{pmatrix} \partial A \cap \partial B & \partial A \cap B^\circ & \partial A \cap B^{-1} \\ A^\circ \cap \partial B & A^\circ \cap B^\circ & A^\circ \cap B^{-1} \\ A^{-1} \cap \partial B & A^{-1} \cap B^\circ & A^{-1} \cap B^{-1} \end{pmatrix} \quad (i)$$

No domínio teórico, o modelo das nove interseções tem sido usado para muitos fins. Como exemplo podemos citar a investigação de mudanças temporais de relações topológicas [28], a avaliação da proximidade deste formalismo com a cognição humana [55] e a descrição da composição de relações topológicas [27].

Método da Dimensão Estendida

Este modelo, definido por Clementini em [13], é mais uma extensão do modelo das quatro interseções. Foi definido para que as relações entre objetos geográficos não fossem baseadas apenas em áreas, mas também, assim como ocorre com o modelo das nove interseções, em relações do tipo linha-linha, ponto-linha, linha-área, ponto-área e ponto-ponto.

O método da dimensão estendida define 256 (i.e. 4^4) possibilidades, tendo em vista que cada uma das quatro interseções pode assumir um dos seguintes valores: -1 para interseção vazia, 0 para obtenção de um ponto como resultado da interseção, 1 para obtenção de uma linha, ou 2 para aquisição de uma área como resultado da interseção.

3.2.2 Modelos para Relações de Distância e Direção

Assim como apresentamos alguns modelos para relações topológicas, discutiremos alguns modelos voltados para relações de distância e direção, também pertinentes ao raciocínio espacial qualitativo.

Lógica Baseada em Intervalos

A lógica baseada em intervalos, proposta por Allen em [1], embora originalmente tenha sido projetada apenas para aspectos temporais representados por estrutura de uma dimensão, pesquisas têm sido feitas no sentido de fazer com que esta lógica possua uma maior abrangência. O conhecimento temporal é representado através de um intervalo de tempo como uma entidade primitiva. Um intervalo de tempo de uma dimensão consiste em um par de pontos ordenados onde o primeiro determina o começo de um evento e o segundo o seu fim.

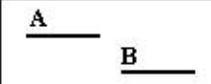
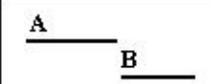
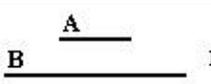
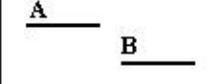
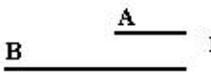
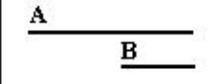
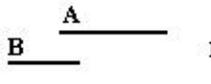
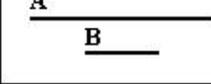
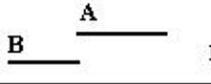
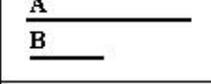
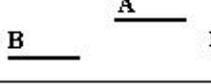
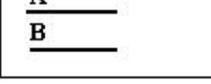
 B depois de A	 B começado por A
 B tocado por A	 B contém A
 B sobreposto por A	 B terminado por A
 B termina A	 B sobrepe A
 B contido em A	 B toca A
 B começa A	 B antes de A
 B igual a A	

Figura 3.3: Possíveis relações entre dois intervalos [1]

As possíveis relações entre dois intervalos de tempo são mostradas na figura 3.3. Novas relações podem ser inferidas a partir de outras relações. Por exemplo, se um intervalo A contém um intervalo B e o intervalo B encontra o intervalo A, então a relação entre A e C pode ser *sobreposição*, *contém* ou *terminado por*.

Apesar da lógica baseada em intervalos proposta em [1] estar limitada à dimensão temporal, algumas extensões foram desenvolvidas para que relações espaciais pudessem ser obtidas [43].

Projeções Simbólicas

Este modelo, também conhecido por alguns autores como indexação icônica, utiliza uma estrutura de dados chamada *2D string* para o raciocínio e a representação de objetos em imagens. Basicamente, a idéia é projetar as posições de todos objetos em eixos de coordenadas e codificar as posições relativas destes objetos através de uma *string*. Cada objeto é representado por uma *string* localizada em uma determinada posição dos eixos de coordenadas.

A estrutura de dados *2D string* possui os seguintes operadores espaciais: (1) “<” – que define as relações espaciais direita, esquerda, abaixo e acima, (2) “=” – que define a relação em os que dois objetos compartilham a mesma localização espacial relacionada com os eixos de coordenadas, e (3) “:” – que define a relação em que os dois objetos possuem exatamente a mesma localização relativa, isto é, estão nos mesmos eixos de coordenadas.

Há quatro de tipos de representações *2D string*, que são: (1) *2D string* absoluta – ocorre quando a representação possui todos os operadores que descrevemos anteriormente, (2) *2D string* normal – ocorre quando o operador “=” é removido da representação, (3) *2D string* reduzida - quando o operador “:” também é excluído, e (4) *2D string* ampliada – é muito parecida com a *2D string* reduzida, a diferença é que esta representação inclui uma descrição da posição relativa dos objetos no eixo de coordenada vertical.

EF			
		C	D
A	A		B

Figura 3.4: Disposição de objetos em uma figura simbólica [83]

A figura 3.4 apresenta uma figura simbólica contendo sete objetos, onde os seguintes tipos de representação podem ser obtidos em função dos operadores acima:

- *2D string* absoluta – (A=E:F<A<C<B=D, A=A=B<C=D<E:F)
- *2D string* normal – (AE:F<A<C<BD, AAB<CD<E:F)
- *2D string* reduzida – (AEF<A<C<BD, AAB<CD<EF)
- *2D string* ampliada – (AEF<A<C<BD, AAB<CD<EF, 1465723)

Cada tipo de representação descrito acima está associado a um par no formato (u,v) , onde u representa o eixo horizontal e v representa o eixo vertical, exceto para o tipo *2D string* ampliada que possui um elemento adicional que é a descrição da posição dos objetos no eixo de coordenada vertical.

Uma *2D string* pode representar também consultas espaciais. A grande vantagem desta metodologia é que tanto a informação espacial quanto consultas espaciais podem ser

obtidas através de uma subsequência de processos combinados. Isto faz com que o número de relações espaciais entre objetos, obtidas através da representação *2D string*, seja maior do que as relações explicitamente definidas nas imagens destes objetos.

Os objetos de uma imagem são associados aos retângulos mínimos que os contêm, tais retângulos são denominados de MBR (*minimum bounding rectangle*). Os objetos da imagem são reconhecidos através de técnicas de processamento e reconhecimento de imagens.

A representação *2D string* tem sido objeto de pesquisas que visam aprimorá-la através de extensões [52]. Uma análise sobre estas extensões pode ser encontrada em Times [83].

Grid de Orientação

Grid de Orientação, proposto por Freksa em [35], é um modelo espacial qualitativo para representar e processar o conhecimento relacionado com orientações espaciais qualitativas. Este modelo é baseado na relação conceitual de vizinhança das orientações espaciais. De acordo com esta relação, duas orientações espaciais são conceitualmente vizinhas se e somente se há uma função de transformação de uma para outra no domínio representado. Esta função de transformação quando aplicada gera transformações contínuas como movimento, aumento e diminuição. Vizinhanças conceituais de relações espaciais têm sido também examinadas no domínio de relações topológicas, temporais e de orientação.

Este modelo é baseado no conceito de segmentação de plano onde as interseções de dois planos identificam oito relações de orientação, como pode ser visto na figura 3.5(a), onde o ponto 8, por exemplo, representa a relação de orientação *esquerda-frente*. O vetor *ab* é utilizado para servir de referência na definição das orientações.

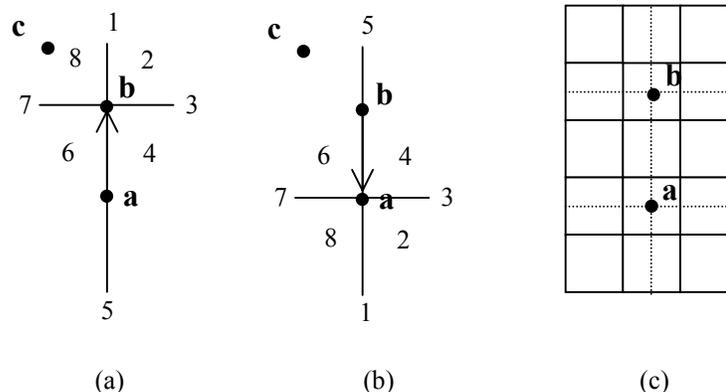


Figura 3.5: *Grid* de orientação e suas 15 relações espaciais [35]

Pelo quadro representado na figura 3.5(a), o ponto *c* está *esquerda-frente* do vetor *ab*. Caso este vetor seja alterado, um novo quadro de referência é criado e o ponto *c* passa a ser *esquerda-atrás* com relação ao vetor *ba*, como pode ser constatado na figura 3.5(b). Um *grid* de orientação, composto por quinze localizações qualitativas, é definido com a combinação dos dois quadros de referência, como apresentado na figura 3.5(c).

Este modelo pode ser refinado para suportar tratamento para relações de distâncias. Para que isto seja possível, o tamanho dos vetores é considerado, juntamente com a combinação de orientação e posição com representações de distâncias qualitativas.

Álgebra de Caminhos

A álgebra de caminhos, proposta por Frank [33], é uma álgebra para raciocínio qualitativo sobre direções no espaço geográfico e consiste dos seguintes elementos: (1) um conjunto de operações; (2) um conjunto de símbolos que depende do modelo usado e que serve de entrada para as operações; (3) um conjunto de regras de inferência que explicam como as operações funcionam. O caminho é definido por um segmento de linha que começa em um ponto P_1 e termina em um ponto P_2 . Esta álgebra define duas operações básicas, uma operação denominada *inversa* que altera a orientação do caminho e outra operação denominada *combinação* que combina dois caminhos contínuos.

Em conjunto com uma função de mapeamento, a álgebra de caminhos é usada na composição de direções cardinais. Atributos do caminho e operações como associação e adição, são usados na definição das regras de composição para as direções cardinais.

Um sistema de direção qualitativa, baseada na álgebra de caminhos, manipula um conjunto finito de símbolos que representam direções qualitativas. O conjunto associado ao modelo baseado em projeções, por exemplo, é formado por quatro direções que são representadas pelos símbolos N, E, S e W. Da mesma maneira que operadores e atributos são definidos para caminhos, eles são definidos para direções cardinais.

Frank apresenta em [32] uma extensão da álgebra de caminhos para inclusão da manipulação de símbolos de distância, como por exemplo, *perto* e *longe*. De forma semelhante aos sistemas de direção, os sistemas de distância qualitativa também têm um conjunto finito de símbolos de distância que descrevem a proximidade entre objetos representados por pontos. Primeiramente foram definidas funções que mapeam caminhos para símbolos de distância. Com isso, as propriedades desejadas das regras de dedução para valores de distância que são baseadas nas propriedades básicas da álgebra de caminhos foram examinadas.

Os modelos propostos por Frank [32, 33], tanto para direção quanto para distância, constituem um formalismo composto por conjuntos de operações, símbolos e regras. Uma limitação da extensão da álgebra de caminhos para lidar com distâncias é tratar apenas pontos, não considerando objetos estendidos. Ressaltamos aqui que objetos estendidos são considerados no nosso trabalho.

Informação de Ordem Bidimensional

Esta metodologia é considerada uma generalização das relações baseadas em intervalos [1], discutida inicialmente. Ela é apresentada por Schlieder em [75] e consiste no projeto de um sistema de relações de segmentos de linhas que descreve as posições relativas de dois segmentos de linha no plano. Este sistema baseia-se na orientação de vértices de um triângulo. A orientação é dita positiva caso o caminho formado pelos pontos p_1 , p_2 e p_3 ,

que são os vértices do triângulo $p_1p_2p_3$, formem uma volta anti-horária. Se esta volta for horária, a orientação é dita negativa.

A representação deste modelo para um conjunto de pontos é feita através de uma função que define as orientações dos triângulos formados por estes pontos. Devido ao fato da orientação de um dado triângulo depender da ordem em que os pontos são selecionados, apenas uma orientação é definida para cada triângulo, ou seja, se a orientação do triângulo ABC é positiva, então o triângulo ACB tem orientação negativa. Dessa maneira, para um conjunto de três pontos haverá apenas um triângulo, para um conjunto de quatro pontos haverá quatro, e assim por diante.

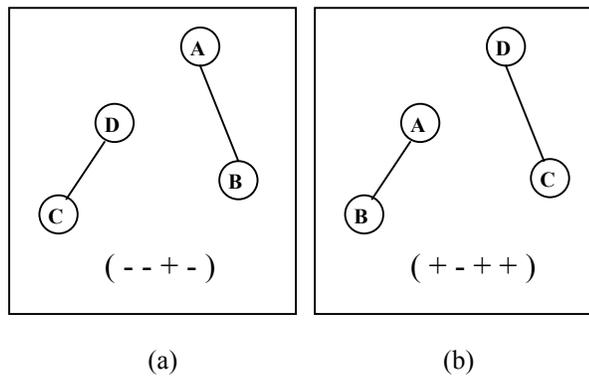


Figura 3.6: Representação de relação entre segmentos de linha [76]

A figura 3.6 ilustra a representação de relações entre dois segmentos de linha através de quatro triângulos de orientação (ABC, ABD, ACD, BCD). Como pode ser verificado, a orientação do triângulo ABC na figura 3.6(a) é negativa, pois o caminho que liga seus vértices constitui uma volta no sentido horário. O mesmo não ocorre na 3.6(b).

A representação da ordem bidimensional pode ser usada para representar descrições qualitativas de objetos [76]. Isto é possível associando sucessivos vértices de uma forma geométrica a um triângulos de orientação. A combinação dos valores de orientação pode determinar a “concauidade” e/ou “convexidade” da fronteiras que definem a forma do objeto.

3.3 Protótipos de Sistemas Espaciais Qualitativos

Protótipos de sistemas espaciais qualitativos são na verdade meios de avaliar um determinado formalismo, mais do que avaliar a viabilidade e o benefício de introduzir o raciocínio espacial qualitativo em áreas de aplicação específica [83]. Eles possuem elevada importância na avaliação e validação de modelos espaciais. Por isso, apresentamos, nesta seção, alguns protótipos de sistemas espaciais qualitativos onde podemos verificar aspectos importantes de como um SIG pode ser orientado a lidar com relações espaciais.

3.3.1 Sharma *et al.* [23]

Em [23], Sharma descreve um exemplo de um protótipo de um sistema espacial qualitativo, onde podemos verificar aspectos importantes da sua implementação que tem como objetivo lidar com relações espaciais como relações topológicas, de direção e de distância. Além de tratar estas relações, o sistema é extensível para tratamento de relações temporais.

As principais características deste protótipo de sistema são as seguintes: (1) armazenamento explícito de relações espaciais; (2) utilização de formalismos para inferir novos resultados, e (3) a realização de análises espaciais usando descrições baseadas nas coordenadas dos objetos geográficos.

O paradigma da orientação a objetos é utilizado na concepção do protótipo. Relações espaciais são tratadas explicitamente como objetos, diferentemente de SIG convencionais que definem estas relações como simples ligações entre objetos espaciais. Isto permite que o sistema possa ser estendido para que possa abranger maior número de relações espaciais.

A figura 3.7 mostra a hierarquia de classes implementada no protótipo. Há duas classes de primeira ordem nesta hierarquia, a classe *Relation* e a classe *Relative*. A classe *Relative* representa objetos envolvidos em relações. Todos objetos da classe *Relative* requerem um nome que é utilizado como identificador. Esta classe provê métodos para acessar as relações (i.e. objetos da classe *Relation*) em que seus objetos estão envolvidos, como também, métodos para recuperar o identificador e excluir relações (objetos da classe *Relation*) quando um objeto da classe *Relative* é apagado. A subclasse de *Relative* denotada por *Place* representa objetos com atributos espaciais, enquanto a subclasse *Event* representa objetos com atributos temporais.

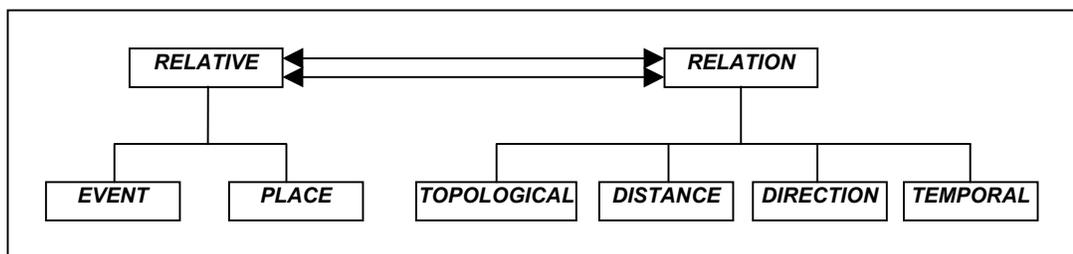


Figura 3.7: Hierarquia de classes usada pelo protótipo [23]

O protótipo foi desenvolvido usando o aplicativo *Symantec Think C* e o conjunto de classes *Think Class Library*. Este ambiente proveu um *framework* para a construção da interface com o usuário, onde foram usados elementos da interface gráfica Apple Macintosh. Duas classes adicionais foram necessárias na implantação do protótipo com a finalidade de permitir o armazenamento persistente dos objetos das classes *Relations* e *Relatives*.

3.3.2 Bennett *et al.* [5]

Em Bennet et al.[5], um outro protótipo de um sistema espacial qualitativo é apresentado. Este protótipo calcula se uma determinada relação espacial é consistente com a base de dados que armazena informações espaciais qualitativas. Consultas deste tipo são resolvidas usando um procedimento que indica se a relação espacial dada como entrada para a consulta é consistente com, inconsistente com, ou uma consequência lógica da base de dados. Assim como o protótipo apresentado em [23], este sistema armazena e manipula tanto dados espaciais qualitativos quanto dados baseados em coordenadas. No entanto, esta abordagem se difere da primeira por representar apenas relações topológicas descritas pelo método RCC apresentado na seção 3.2.1. Semelhanças são também encontradas entre os dois protótipos, como por exemplo, ambos sistemas utilizam *triggers*¹ para propagar atualizações de dados em coordenadas e descrições espaciais e qualitativas [83].

3.3.3 Times [82]

Em Times [83], é apresentado um protótipo de um sistema espacial qualitativo que é mais abrangente no tratamento das relações espaciais que o protótipo apresentado por Egenhofer em [23], pois o provimento de relações, como a relação direcional, não se restringe apenas a objetos representados por pontos. Objetos representados por linhas ou regiões também são considerados.

Este protótipo apresenta as seguintes características: (1) a recuperação de relações espaciais da base de dados; (2) a inferência de informação espacial qualitativa a partir de relações do tipo região-região que são armazenadas na base de dados e (3) a derivação de relações espaciais qualitativas a partir de dados baseados em coordenadas usando algoritmos de geometria computacional para pontos, linhas e regiões. As tabelas de composição formam a base do mecanismo de inferência usado no protótipo do sistema.

As duas principais funcionalidades deste protótipo consistem na manipulação de dados de coordenadas e no manuseio de relações espaciais qualitativas. A primeira provê facilidades para apresentação de mapas e tradução de dados baseados na geometria de objetos espaciais qualitativos. Enquanto a última delas permite que usuários armazenem e/ou recuperem informações de/para um banco de dados independente da geometria dos objetos.

Todos os protótipos aqui discutidos, embora apresentem abordagens distintas, possuem semelhanças quanto a seus objetivos, que são o provimento de mecanismos capazes de lidar com a informação espacial qualitativa. A tabela 3.1 apresenta um resumo comparativo de alguns aspectos analisados nos protótipos de sistemas que foram discutidos.

¹ *Triggers*, conhecidos também como gatilhos, são procedimentos implementados em um banco de dados para serem executados mediante a ocorrência de um evento. São muito úteis na construção de procedimentos para manter a consistência da base de dados.

Tabela 3.1: Tabela comparativa dos protótipos apresentados

<i>Protótipos apresentados por autor</i>	<i>Tratamento de Distância</i>	<i>Armazenamento de Relações</i>	<i>Relações Espaciais Tratadas</i>
Sharma et all	Apenas para pontos	Sim	Topológicas, distância, direção e temporal
Bennet et all	Não	Sim	Topológicas
Times, V. C.	Apenas para pontos	Sim	Topológicas, direção e distância

Como pode ser verificado na tabela 3.1, nenhum dos protótipos implementam procedimentos para tratamento de distâncias considerando objetos de duas dimensões. Na verdade, estes protótipos restringem o provimento de relações de distâncias a métodos semi-qualitativos e a mecanismos de inferência que são capazes de obter relações de distância com base em outros tipos de relação. Porém, aspectos importantes, discutidos no capítulo 4 deste trabalho, não são tratados. No capítulo 5, apresentamos um protótipo de um sistema capaz de tratar distâncias de forma mais abrangente e aprofundada. Apesar dos protótipos apresentados dedicarem maior atenção para relações topológicas, encontramos aspectos em comum com nosso protótipo. Dentre estes aspectos, destacamos o armazenamento e manipulação de relações espaciais como base para obtenção de outras relações.

3.4 SIG Disponíveis Comercialmente

Esta seção aborda alguns SIG atualmente disponíveis no mercado. Buscaremos discutir suas principais funcionalidades para o tratamento de informações espaciais, como também, seus modelos de dados espaciais.

3.4.1 ARC/INFO

Os principais aspectos topológicos suportados pelo ARC/INFO [3] estão associados aos conceitos de arco (*arc*) e nó (*node*). As definições de arco e nó provêm a interligação entre informações. A forma de um arco é determinada pelas coordenadas de sua extensão. Nós são pontos finais do arco. Cada arco possui dois nós, um nó de origem e um de destino. Arcos se conectam apenas com nós. Para determinar se dois ou mais arcos estão conectados, o sistema verifica se estes arcos compartilham algum nó.

Os principais conceitos suportados pelo ARC/INFO são: (1) arcos se conectam através de nós, (2) uma área representada por um polígono é definida através de arcos que se conectam para delimitar esta área, e (3) arcos têm direção e lados direito e esquerdo. É através destes conceitos que relações espaciais são identificadas entre objetos geográficos.

O modelo de dados do ARC/INFO possui três tabelas para armazenar informações referentes aos seus objetos geográficos. São elas: (1) INFO - armazena atributos dos objetos, (2) PAT – *Polygono/Point Attribute Table*, armazena informações referentes à área do polígono e seu perímetro, e (3) AAT – *Arc Attribute Table*, armazena informações de objetos do tipo linha, como o número de nós localizados entre o início e o fim do arco que representa esta linha. As informações contidas nestas tabelas são utilizadas para determinar relações espaciais entre objetos.

Informações relativas à relação de proximidade são obtidas através de comandos que geram zonas de *buffer* ao redor de alguns tipos de objetos, como ponto, linha ou polígono. O uso deste comando permite encontrar objetos que estão localizados a uma dada distância de um objeto utilizado como referência. No capítulo seguinte, apresentaremos em detalhes a utilização de zonas de *buffer* como um mecanismo de obtenção do grau de proximidade entre objetos geográficos.

3.4.2 ArcView

O ArcView é merecedor de uma atenção especial por ter sido utilizado na construção do protótipo proposto por este trabalho. Este SIG é um produto da empresa canadense ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) [30], que desenvolveu o ARC/INFO. Uma de suas principais características é a fácil manipulação de dados tabulares, que pode ser feita através de arquivos dBASE, ou através de conexões com bancos de dados externos.

Não entraremos aqui em detalhes sobre o modelo de dados ArcView, pois será apresentado no capítulo 5. Basicamente, abordaremos brevemente funcionalidades do ArcView associadas à obtenção de relações espaciais entre objetos geográficos.

O ArcView provê a obtenção de relações espaciais entre objetos geográficos através de uma interface gráfica de fácil utilização. Permite a visualização de objetos geográficos através de camadas associadas a propriedades destes objetos. Objetos geográficos são armazenados em tabelas da mesma forma que seus atributos. Métodos associados às classes dos objetos permitem o acesso e a manipulação de seus atributos descritivos e espaciais.

A figura 3.8 mostra uma janela pela qual o usuário pode realizar consultas para identificar objetos que se interceptam, objetos que contêm outro objeto, ou para saber quais objetos estão localizados a uma determinada distância de um objeto de referência.



Figura 3.8: Janela de seleção para obtenção de relações espaciais no ArcView

Apesar destas três opções, apresentadas na figura 3.8, parecerem insuficientes para prover um grande número de relações espaciais, lembramos que estas opções podem ser combinadas para geração de novas relações. Como por exemplo, caso se queira saber quais estradas ligam as cidades A e B, podemos primeiramente selecionar todas as estradas que passam pelas cidade A, para depois, selecionar, dentre as estradas selecionadas, todas aquelas que passam pela cidade B. Vale destacar que o termo “estrada passa por uma cidade” pode significar que a estrada pode passar pelo centro ou pelos arredores da cidade. Para delimitar com exatidão a região que compreende uma cidade, podemos utilizar zonas de *buffer* para delimitar seus limites. Funções e métodos disponíveis no ArcView, como os ilustrados na figura 3.8, foram utilizados na implementação do nosso protótipo.

3.4.3 MGE

O MGE [56] é um SIG desenvolvido pela Intergraph, empresa especializada em mapeamentos e soluções geoespaciais. Apresenta um modelo de dados baseado em camadas, no qual um grupo de camadas é associado a um mapa. Por exemplo, uma camada que representa recursos hídricos de uma região pode agrupar tanto mapas de rios quanto mapas de poços tubulares desta região.

O modelo de dados MGE consiste de informações gráficas que são armazenadas em uma base de dados do tipo CAD. Estas informação são relacionadas com atributos armazenados em um banco de dados relacional. Esta informação gráfica pode ser um ponto, uma linha, um polígono ou uma cadeia de linhas.

O MGE possui um módulo denominado MGA (*MGE Analyst*) que provê funcionalidades para criação, consulta, análise e apresentação de dados geográficos estruturados topologicamente. É uma poderosa ferramenta de análise espacial para construção de modelos topológicos e consulta de relações entre objetos geográficos. O MGE armazena informações topológicas em arquivos independentes chamados de *topo file*. O módulo de análise MGA pode processar operações para consultar informações contidas nos arquivos de topologia (*topo files*). Os resultados destas consultas são adicionados aos arquivos de topologia e são imediatamente disponibilizados para apresentação, impressão ou gravadas para utilização em outras análise.

Vale ressaltar, que dentre todos os SIG comerciais que analisamos, o MGE é o que apresenta mais funcionalidades para o tratamento de relações espaciais. De certa forma podemos afirmar que o MGE caracteriza-se como um sistema espacial qualitativo, especificamente para relações topológicas.

3.4.4 Smallworld

O Smallworld [78] merece algum destaque por ser um SIG orientado a objetos. Este sistema provê um gerenciamento de uma base de dados tanto para dados espaciais quanto para dados descritivos. A coleção de objetos do Smallworld disponibiliza uma coleção de atributos e relacionamentos para que o usuário possa modelar a realidade. Os relacionamentos podem ser relações um-para-um, um-para-muitos e muitos-para-muitos. Os atributos são classificados em dois grupos: (1) grupo de atributos espaciais, composto basicamente de pontos, cadeias e áreas, e (2) grupo de atributos descritivos, composto por números e cadeia de caracteres.

No modelo de dados do Smallworld, várias representações espaciais podem ser associadas a um único objeto geográfico. Para isto, este objeto terá múltiplos atributos espaciais que poderão ser do tipo ponto, cadeia e área. Colocando este tipo de informação espacial no nível de atributo, maior flexibilidade é dada ao modelo. Por exemplo, um determinado objeto pode aparecer em diferentes tipos de mapas e em cada um deles apresentar diferentes geometrias. Este modelo também provê alguns conceitos para lidar com situações onde há a necessidade do uso de diferentes sistemas de coordenadas.

3.4.5 Spring

A primeira versão deste SIG foi lançada em 1993 pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. A motivação básica para seu desenvolvimento foi a integração de tecnologias de sensoriamento remoto e SIG, a utilização de um modelo de dados orientado a objetos e a provisão de um ambiente interativo para visualizar, manipular e editar dados geográficos. A versão 2.0 do Spring [79] foi concebida basicamente para suportar a arquitetura cliente-servidor e interação com SGBDs. Os aspectos que foram analisados do Spring, apesar de terem sido baseados na versão 2.0, estão em conformidade com as versões mais recentes. Diferentemente dos demais SIG apresentados, o Spring é um produto acadêmico de utilização gratuita.

Para representação de dados geográficos, o Spring possui duas grandes classes: Representação Vetorial e Representação Matricial. O Spring permite que tanto as representações matriciais quanto as vetoriais estejam associadas a uma mesma informação geográfica. Várias especializações são definidas para estas duas classes.

O Spring inclui uma implementação parcial de uma linguagem de consulta e manipulação espacial denominada LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) [9]. Esta linguagem permite expressar operações específicas para cada tipo de dado, bem como realizar operações de conversão entre tipos de dados.

São muitas as funcionalidades do Spring, que vão desde a provisão de funções para manipulação de imagens até ferramentas para geração de interface com outros SIG. Dentre estas funcionalidades, destacamos ferramentas para conexão com banco de dados. O Spring permite o acoplamento a um SGBD relacional mono-usuário e também a SGBD comercial com suporte à arquitetura cliente-servidor. Ele também oferece uma interface compatível com dBASE IV e SQL. As operações de consulta ao banco de dados incluem seleção de objetos baseada em atributos ou relações topológicas e métricas. Como exemplo de relações topológicas, obtidas através de consultas, podemos citar adjacência, cruzamento, pertinência e sobreposição. Para as relações métricas, a relação de distância é um exemplo.

3.5 Conclusão

Neste capítulo, abordamos vários aspectos relacionados com o raciocínio espacial qualitativo, discutimos representações para relações qualitativas entre objetos geográficos, também focalizamos alguns protótipos de sistemas espaciais qualitativos, assim como funcionalidades disponíveis em alguns SIG comerciais. Enfim, evidenciamos a importância e a necessidade de métodos qualitativos para os SIG atuais, ao mesmo tempo que discutimos alguns esforços realizados neste sentido. Como foi citado neste capítulo, há uma carência de trabalhos que se proponham a lidar com relações de distância em sua abrangência. Alguns trabalhos têm o enfoque apenas em relações topológicas [1, 15, 66]. Outros se limitam a tratar distância apenas para objetos representados por pontos [32, 33, 35]. Como já dito anteriormente, a maioria dos trabalhos se restringe a prover relações de distância apenas através de mecanismos de inferência [5, 23]. Apesar de importante, este artifício não é suficiente para lidar com a complexidade que envolve o conceito de distância.

Distância sob o ponto de vista do raciocínio espacial qualitativo é o foco do capítulo seguinte, onde pretendemos evidenciar aspectos aqui discutidos no âmbito de relações de distância.

Capítulo 4

Distância em SIG

O objetivo deste capítulo é abordar conceitos relacionados com o tratamento das relações de distância. Estes conceitos vão desde as definições de distância qualitativa e quantitativa, onde ambos conceitos podem ser comparados, até a discussão sobre vários fatores que afetam, direta ou indiretamente, o raciocínio humano sobre distância. Mecanismos utilizados pelos SIG atuais para lidar com relações de distância são abordados também.

Dessa forma, este capítulo serve como prefácio para o capítulo posterior, onde pretendemos apresentar uma definição de operadores capazes de prover relações de distância entre objetos, simples ou estendidos, dentro do escopo do raciocínio espacial qualitativo.

4.1 Conceito de Distância

A maioria das definições de distância, encontradas em diversos dicionários e em outras referências, nos remetem à distância como um intervalo que separa dois pontos no espaço, ou dois momentos no tempo [31, 47]. Ressaltamos que distância, neste trabalho, será abordada sob o ponto de vista estritamente espacial.

A origem do conceito de distância está associada com a nossa experiência cotidiana no relacionamento com o mundo físico. Nossa habilidade intuitiva de diferenciar objetos separados espacialmente nos leva a ter uma percepção da distância que os separa. Esta capacidade de percepção não se dá apenas para espaços de pequenas escalas, conhecidos como *table-top space*, mas também para espaços geográficos¹[26]. Podemos raciocinar e perceber distâncias entre objetos ou cidades, e até mesmo entre países.

¹ Em [26], Engenhofer define espaço geográfico como o espaço que contém objetos que nós humanos não podemos manipulá-los, ou melhor, não podemos movimentá-los facilmente.

Neste trabalho, o conceito de distância estará sempre associado ao espaço geográfico. Assim, estamos nos abstendo de qualquer discussão que envolva distâncias em pequenas escalas, tais como, distâncias entre objetos em uma casa, entre elementos de um circuito eletrônico, entre componentes de um átomo.

4.1.1 Distância Quantitativa

Há muito tempo, distância tem sido objeto de estudo em Geometria. A Geometria se utiliza de um sistema de coordenadas que permite que distância possa ser expressada através de uma linha entre dois pontos. A seguir, é apresentada a fórmula para cálculo de distância no sistema de coordenadas cartesiano:

$$d(P_1, P_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (i)$$

Onde d é a distância entre os pontos $P_1(x_1, y_1)$ e $P_2(x_2, y_2)$ no sistema de coordenadas cartesiano. Esta fórmula de cálculo de distância é baseada no teorema de Pitágoras [37, 44].

Em [10], são apresentadas fórmulas de cálculo de distância no sistema de coordenadas esféricas baseadas em longitude e latitude. Estas fórmulas são mais eficientes para cálculo de distâncias na superfície terrestre, onde o sistema de coordenadas cartesiano se mostra ineficiente quando é exigida alta precisão. Ainda em [10], é apresentada uma fórmula que considera não somente as latitudes e longitudes do sistema esférico, mas também a forma geóide da terra que interfere na distância.

A distância geométrica, independente do sistema de coordenadas, pode ser caracterizada pelas propriedades de reflexividade, simetria e desigualdade triangular:

- Reflexividade: $d(P_1, P_1) = 0$
- Simetria: $d(P_1, P_2) = d(P_2, P_1)$
- Desigualdade triangular: $d(P_1, P_2) + d(P_2, P_3) \geq d(P_1, P_3)$

A exposição destes conceitos de distância, como também das propriedades acima apresentadas, sob o ponto de vista puramente geométrico, é importante para que possamos evidenciar as diferenças entre esta abordagem, meramente quantitativa, e uma abordagem qualitativa, onde propriedades como simetria ou desigualdade triangular podem facilmente ser contestadas [26].

Até então, abordamos apenas distâncias que são representadas de forma quantitativa dentro de algum sistema de referência. Dessa forma, a distância que separa dois objetos geográficos é meramente um intervalo espacial representado em uma unidade qualquer, que pode ser metros, quilômetros, milhas, entre outras.

É importante esclarecer que distância, diferentemente de outras grandezas, caracteriza-se por uma relação entre dois objetos que são tomados como referência. Por isso que muitas

vezes neste trabalho utilizamos o termo “relação de distância” para nos referir à distância entre dois objetos, caracterizando-a melhor como uma relação de distância qualitativa em um contexto geográfico.

4.1.2 Distância Qualitativa

Distância sob o ponto de vista qualitativo é mais que extensão ou magnitude escalar. Depende de uma série de fatores que mostram que nem sempre ela pode ser expressada simplesmente pelo intervalo espacial que separa dois pontos. A intuição humana nos remete a este raciocínio à medida que nosso conceito cognitivo de distância depende de alguns fatores. Exemplos destes fatores são: o tamanho relativo e formas dos objetos envolvidos, a posição relativa de outros objetos, ou o que se gasta para chegar de um ponto P_1 a um ponto P_2 , entre outros que mencionaremos na seção seguinte. O custo de deslocamento, mencionado como um dos fatores, pode ser, por exemplo, distância métrica, tempo ou pedágios. É importante evidenciar que, quando direcionarmos a questão da distância para o raciocínio espacial qualitativo, adicionamos muito mais complexidade a esta questão.

A maioria dos operadores topológicos provê resultados puramente qualitativos. Com relação à distância, não podemos afirmar que seus operadores geram o mesmo tipo de resultado sempre [37], tendo em vista que a aplicação de procedimentos a valores numéricos tem sido importante para se alcançar um resultado qualitativo. Alguns autores consideram o termo semi-qualitativo mais apropriado para se referir a este tipo de operadores [19, 37, 39]. Mais adiante, são apresentados mecanismos pelos quais a comunidade de pesquisa em SIG lida com esta dualidade. A utilização de conjuntos *fuzzy*² é um destes mecanismos.

4.2 Fatores que Influenciam Distância

Atendendo aos objetivos deste trabalho, quando o conceito de distância for abordado, será sempre dentro do raciocínio espacial qualitativo. Neste sentido, tivemos a preocupação de identificar os elementos que, de forma direta ou indireta, influenciam, ou até determinam, as relações de distância entre objetos geográficos. É importante lembrar que todos estes elementos evidenciam o aspecto contextual na obtenção de relações de distâncias. Isto é, a distância qualitativa leva em consideração vários fatores que são pertinentes ao contexto

² Conjuntos *fuzzy* são bastante utilizados em SIG para manipular diferentes tipos de incerteza inerentes a quase todos os dados espaciais [37][42][64], associando informação quantitativa com qualitativa. Alguns autores nacionais traduzem o termo *fuzzy* como o adjetivo impreciso ou nebuloso. Em nosso trabalho, usaremos sempre o termo original *fuzzy*.

em questão, também denotado como quadro de referência por alguns autores [45, 46]. Assim, neste trabalho, usaremos a terminologia “quadro de referência” para denotar o contexto, como também, o termo “objeto de referência” para denotar o objeto sobre o qual serão providas as relações de distância.

Uma classificação de quadros de referência, apresentada em [45], é dada a seguir:

- Quadro de referência intrínseco - A distância é determinada por algumas características inerentes ao objeto de referência, como sua topologia, tamanho ou forma. A distância entre duas escolas, por exemplo, considerando um quadro de referência intrínseco, é determinada através de propriedades dos objetos que representam as escolas, como localização e tamanho. Fatores externos, neste caso, não são considerados.
- Quadro de referência extrínseco – A distância é determinada por fatores externos, como por exemplo, a forma em que todos os objetos estão arranjados dentro do espaço geográfico, o tempo de deslocamento ou os custo envolvidos. Diferentemente do exemplo anterior, onde a distância entre duas escolas não depende de fatores externos, quando considerado um quadro de referência extrínseco, a avaliação da distância dependerá destes fatores. Estes fatores externos podem ser, por exemplo, vias de acesso que ligam as escolas, posição relativa de outras escolas no quadro de referência, custo de deslocamento, entre muitos outros.
- Quadro de referência circunstancial – A distância é determinada por um ponto de vista externo ao quadro de referência. Neste tipo de quadro de referência, um observador externo exercerá efeito sobre o raciocínio de distância, uma vez que as suas observações dependem de circunstâncias diversas. Um exemplo disto é a avaliação da distância entre uma escola e uma casa. Dentro de um quadro de referência circunstancial, a intenção do observador exercerá influência na avaliação da distância entre estes objetos. Se, por exemplo, sua intenção for saber se determinada escola é viável para seu filho estudar, ele terá uma noção particular de distância. Caso este mesmo observador queira alugar uma casa distante do barulho gerado por uma escola, a noção que terá da distância poderá ser muito diferente.

Esta classificação é útil como forma de organizar os fatores que influenciam no conceito de distância, separando-os em diferentes quadros de referência. Nosso trabalho, no entanto, não fará esta distinção, fazendo com que qualquer alusão a quadro de referência englobe todas estas classificações.

Para reforçarmos a idéia da distância como dependente de uma série de fatores, citamos [37], onde o autor resume o conceito de distância como uma grandeza que não pode ser fixa, mas sim variável pela dependência de uma série de elementos: (1) conjunto de objetos sob consideração; (2) o caminho de conexão entre os objetos; (3) a distribuição espacial relativa a um tempo específico; (4) a escala gráfica na qual os objetos estão sendo visualizados; (5) a atratividade dos objetos. Além da relação ou classificação de fatores descrita em [37] e [45], outras abordagens podem ser encontradas em [26, 44, 46]. A seguir analisaremos em detalhes como estes fatores influenciam na determinação de distância.

4.2.1 Posição dos Objetos

A posição de todos os objetos contidos no quadro de referência exerce relevante influência nas relações de distância entre objetos. Se, por exemplo, quisermos mensurar a distância entre determinada localidade e um hospital, as distâncias entre esta localidade e outros hospitais deverão ser ponderadas na obtenção da distância qualitativa, uma vez que as posições dos objetos que compõem o quadro de referência influenciarão nas relações de distância entre outros elementos. Assim, dizer se uma escola está perto ou longe de um determinado hospital, dependerá da proximidade dessa escola com outros hospitais, como também das demais distâncias entre escolas e hospitais. Alguns autores chamam esta distância, que é calculada com base nas distâncias entre objetos do conjunto, de distância relativa, como pode ser verificado em [37].

A figura 4.1 representa um quadro de referência onde escolas e hospitais estão distribuídos espacialmente. Pode ser facilmente verificado que o nosso raciocínio nos traz a relação de distância entre a escola A e o hospital B como sendo próximos um do outro. Vale observar que o que nos fez raciocinar desta maneira foi a distância bem maior desta escola com os outros hospitais.

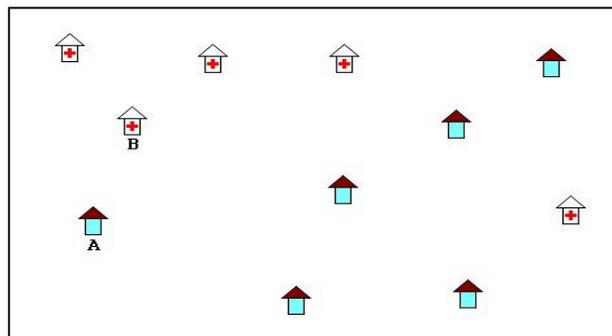


Figura 4.1: Escola A próxima do hospital B

Já a figura 4.2 representa um quadro que não nos leva a uma relação de muita proximidade entre a escola A e o hospital B. Isto se deve ao fato que agora há outros hospitais mais próximos da escola.

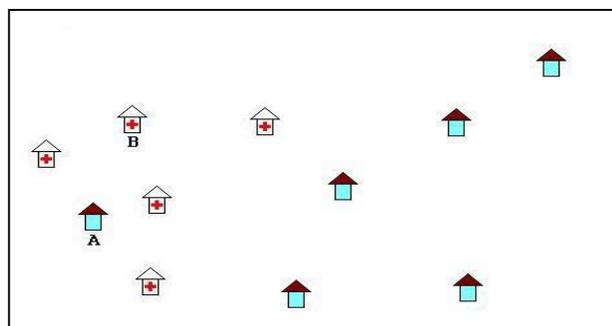


Figura 4.2: Escola A não tão próxima do hospital B

O quadro de referência apresentado na figura 4.3, tal como ocorreu na figura 4.2, não mostra muita proximidade entre os objetos de referência. Isto ocorre pela proximidade relativa entre outras escolas e outros hospitais.

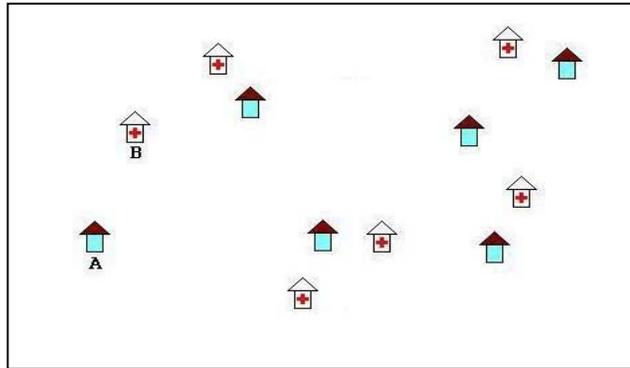


Figura 4.3: Escola A não tão próxima do hospital B

É importante ressaltar que, nos três quadros de referência, a distância quantitativa entre a escola A e o hospital B é sempre a mesma. Isto evidencia que apesar da distância quantitativa ser relevante, não foi o único fator na concepção da relação de distância.

4.2.2 Escala

Alguns trabalhos indicam que relações de distância devem ser obtidas em função de uma escala [37, 44, 45]. O que pode ser considerado perto em uma escala pode ser longe em uma outra.

Tomemos como exemplo as seguintes proposições: (1) São Paulo é perto do Rio de Janeiro e longe de Manaus; (2) São Paulo é perto de Manaus e longe de Tóquio. Analisadas separadamente, estas proposições parecem corretas, porém quando analisadas juntas há uma inconsistência: São Paulo ora está longe, ora está perto de Manaus. A solução para a questão está em assumir que as alterações na escala mudam a nossa concepção sobre distância.

4.2.3 Atratividade

Diferentes tipos de objetos envolvem diferentes relações de distância, à medida que são mais ou menos “atrativos” sob a percepção do observador. Um depósito de lixo, por exemplo, não é nada atrativo se comparado com um restaurante. Assim, uma casa e um restaurante podem estar longe se a distância que os separa for de cinco quilômetros, porém, a mesma casa e um depósito de lixo poderiam estar perto para esta mesma distância.

4.2.4 Acessibilidade

A acessibilidade está associada à capacidade de, partindo de um determinado objeto, alcançarmos um outro objeto. Na seção 4.2.1, mostramos a importância de considerar todos os objetos que compõem o quadro de referência. No entanto, consideramos somente aqueles que apresentam as mesmas características dos objetos de referência. Quando consideramos a acessibilidade como fator de influência sobre a percepção de distância, estamos considerando, além destes objetos, que são as escolas e os hospitais, todos aqueles que interferem no caminho que os conectam.

Tomemos como exemplo o quadro de referência representado pela figura 4.4. Este quadro de referência é muito parecido como os das figuras 4.1, 4.2 e 4.3, com a diferença de que agora há caminhos de interligação entre os objetos A, B e C. Neste quadro, não interessa apenas a proximidade geométrica entre A e B para ponderação da distância. Os meios pelos quais se pode chegar a B, partindo de A, também têm relevância. Estes meios de interligação entre objetos, também são objetos do quadro de referência, exemplo: ruas, avenidas, linhas de trem, entres muitos outros. Podemos perceber que através do objeto representado por seguimentos de linha que ligam A, B e C, partindo de A, podemos chegar a C mais facilmente, apesar de A estar mais próximo de B.

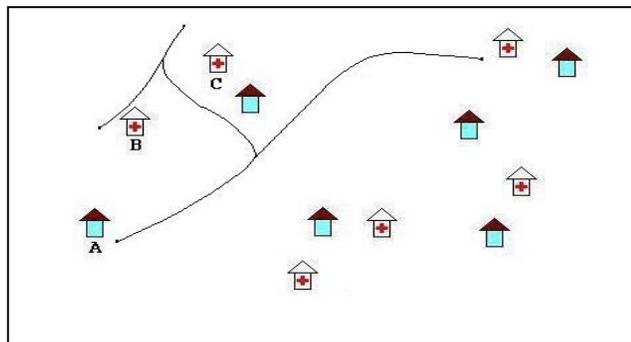


Figura 4.4: Escola A mais próxima de C do que de B

O tempo de deslocamento como fator de influência para distância, de certa forma, está relacionado com acessibilidade [44]. Considerando a figura 4.4, quando dizemos que chegar ao ponto C é mais fácil que ao ponto B, na verdade estamos levando em consideração que o caminho AC é mais perto que o AB por demandar menos tempo de percurso.

No exemplo apresentado, consideramos a estrada como fator de influência sobre distância, porém, objetos com outras características também afetam diretamente a acessibilidade dos objetos de referência. Como por exemplo: linhas de ônibus, pontos de metrô, postos de pedágios, semáforos, entre muitos outros. Vale ressaltar que a influência destes objetos sobre a acessibilidade pode ser tanto positiva, a exemplo das estradas, quanto negativa, como os postos de pedágio ou semáforos.

4.2.5 Tamanho e Forma

O tamanho do objeto muitas vezes produz um efeito de proximidade [44]. Quanto maior o objeto, mais próximo ele parecerá estar. Por exemplo, a distância de 50 quilômetros é considerada grande quando separa duas casas, porém é considerada pequena quando separa duas cidades.

A forma é também um fator de influência à medida que, em objetos estendidos, vários pontos podem ser tomados como referência para obtenção de distância. Estes pontos de referência podem ser: (1) os centróides dos objetos de referência, (2) os centróides dos seus retângulos internos; ou (3) os pontos de suas bordas, que podem ser pontos quaisquer ou pontos mais próximos. No tratamento de distância para objetos estendidos, podemos utilizar conceitos de distância mínima, média e máxima. A distância mínima e máxima são, respectivamente, a menor e a maior distância entre os pontos que representam dois objetos estendidos. A distância média é calculada pela média aritmética das distâncias entre diferentes pontos destes objetos.

4.2.6 Objetivo da Informação

Este fator diz respeito ao propósito pelo qual a relação de distância está sendo levantada. De acordo com sua prioridade e grau de importância, este propósito pode interferir diretamente na percepção de distância. Por exemplo, se levantarmos a relação de distância entre uma escola e um hospital, o resultado poderá ser diferente se o levantamento for feito entre uma escola e um parque de diversão. Isto ocorre porque o grau de importância da proximidade entre um hospital e uma escola, é muito maior que a proximidade entre um parque de diversão e esta escola.

4.2.7 Temporalidade

Pela natureza dinâmica de um quadro de referência, é importante considerar o aspecto temporal nas relações de distância. Dois objetos, que estão próximos hoje, poderão não estar próximos em outro momento. Por isso, muitas vezes a nossa percepção de distância está relacionada com uma série de fatores, como os descritos até aqui, que foram considerados em um tempo fixo. Considerando o aspecto temporal, uma casa que há dez anos estava distante de uma escola, pois não havia vias de acesso, pode hoje, a mesma casa estar perto da mesma escola devido ao fator acessibilidade ter sido alterado no decorrer destes dez anos.

Um objeto que se movimenta está intimamente relacionado ao fator temporalidade, pelo fato da sua posição geográfica estar sempre variando na linha do tempo. Adiantamos que

nosso trabalho não tratará de relações geográficas para este tipo de objeto, uma vez que tal assunto envolve múltiplas particularidades, merecendo uma atenção mais específica.

4.3 Raciocínio sobre Distância em SIG

Sistemas de Informações Geográficas, apesar de já existirem há um longo tempo, têm mudado muito pouco na maneira como abordam o raciocínio espacial, isto é, a extração de uma nova informação espacial a partir de informações armazenadas. A obtenção desta informação pelos SIG comerciais tem sido principalmente quantitativa [43]. Isto difere da nossa intenção de obter informações qualitativas que se adequam muito melhor ao nosso ponto de vista cognitivo. Vários estudos foram realizados com o objetivo de suprir tal deficiência [22, 23, 26, 32, 33, 37].

Nesta seção, faremos uma breve revisão de como SIG lidam com distância, provendo relações de distâncias qualitativas ou quantitativas entre seus objetos geográficos.

4.3.1 Zonas de *Buffer*

A maioria dos SIG possui mecanismos para mensurar distâncias quantitativas entre objetos geográficos. Estes mecanismos são em sua grande maioria operadores que recebem objetos geográficos como parâmetro e retornam a distância em alguma unidade de medida.

Para objetos representados por ponto, esta operação é comumente realizada através de um cálculo matemático como mostrado na seção 4.1.1. Para objetos estendidos, objetos de uma ou mais dimensão, os SIG se utilizam de zonas de *buffer* para processar operações de distâncias. Vale ressaltar, que zonas de *buffer* podem também ser utilizadas sobre pontos para tal fim.

O termo *buffer* é comumente utilizado em ambientes de geoprocessamento e é adotado em inúmeros SIG. Zonas de *buffer* são regiões formadas a partir das fronteiras dos objetos, em direção de dentro para fora. Muitos autores usam o termo *setback* para descrever regiões que são formadas de fora para dentro [12]. Vários SIG não fazem distinções entre zonas de *buffer* e *setback*. A figura 4.5 ilustra a utilização de zonas de *buffer* em SIG para objetos representados por segmentos de linha e regiões.

Um exemplo da utilização de zonas de *buffer* para realização de consultas em SIG ocorre quando desejamos, por exemplo, saber quais as cidades que estão localizadas a determinada distância da capital do estado ao qual pertencem. Primeiramente, é definida uma zona de *buffer* para a capital do estado, e depois, é realizada uma operação de interseção entre as cidades e a zona de *buffer*. O conjunto de cidades que intercepta a zona de *buffer* é o resultado da consulta.

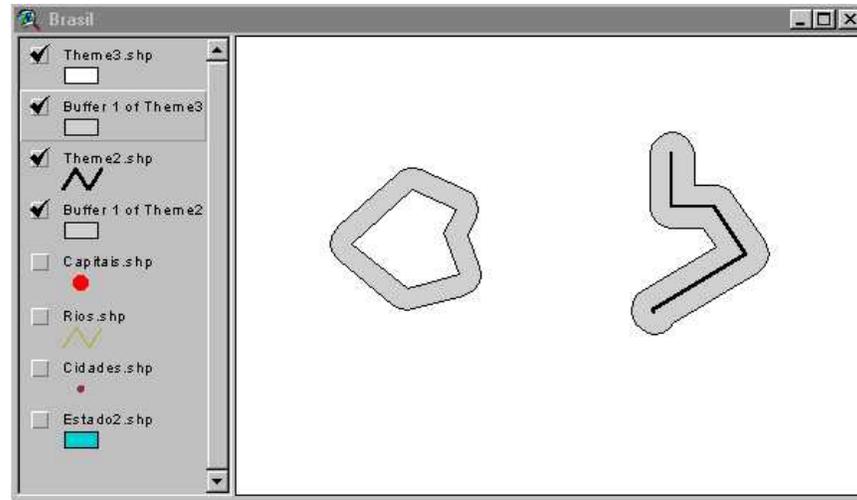


Figura 4.5: Zonas de buffer calculadas no ArcView

A área definida por uma zona de *buffer* dependerá diretamente da distância medida entre a fronteira do objeto e a fronteira da zona de *buffer*. Funcionalidades dos SIG permitem ainda que as zonas de *buffer* sejam subdivididas em sub-regiões que variam de acordo com a distância do objeto de referência, como mostrado na figura 4.6.

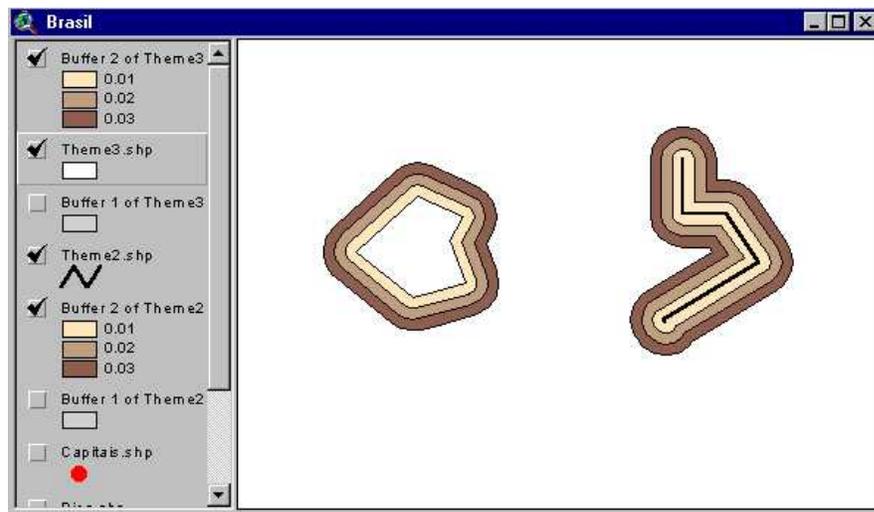


Figura 4.6: Zonas de buffer com sub-regiões calculadas no ArcView

Através das funções de criação de zonas de *buffer*, é possível mensurar distâncias entre objetos geográficos com a utilização de um conjunto de operadores que identificam relações de interseção entre as zonas de *buffer*. Por exemplo, supondo que pretendemos verificar, em determinado quadro de referência, quais as cidades que estão a uma distância de três quilômetros de um certo rio. Para isto, primeiramente, é criada uma zona de *buffer* para o rio com a extensão de três quilômetros. Depois, é realizada uma operação que

determinará quais cidades interceptam a zona de *buffer* recém criada. O resultado desta operação trará todas as cidades que estão a uma distância de três quilômetros do rio em questão. Este procedimento poderá ser realizado para mensurar distâncias entre objetos representados por pontos, segmentos de linhas ou regiões.

Como pode ser verificado, zonas de *buffer* geram funcionalidades capazes de prover análises de proximidades entre objetos estendidos, porém, não são o bastante para atender aos requisitos de um sistema que gere relações de distâncias qualitativas.

4.3.2 Lógica *Fuzzy*

A lógica *fuzzy* [49] representa um tipo de lógica onde proposições podem resultar em diferentes graus de certeza. Por exemplo, consideremos a seguinte afirmação: *a escola está próxima do hospital*. Dentro da lógica *fuzzy*, tal proposição poderá ser 100% verdade caso a escola e o hospital sejam vizinhos, 80% verdade se a distância que os separa for alguns metros, e 0% se esta distância for tal que inviabiliza qualquer ida ao hospital partindo da escola. Como pode ser constatado, se não tivéssemos usado a lógica *fuzzy*, esta proposição poderia assumir apenas os valores verdadeiro ou falso .

Aprendemos, através da matemática clássica, que um conjunto consiste de uma coleção de elementos. Esta coleção pode ser finita ou não. Há várias maneiras pelas quais podemos definir este conjunto, como, por exemplo, enumerando cada um de seus elementos ($A = \{2, 3, 4, 5\}$), ou então, a partir de uma condição de pertinência ($A = \{x \in \mathbb{N} \mid 1 < x < 6\}$). Na definição dada pela condição de pertinência, para um valor de x cuja avaliação da condição seja verdadeira, significa que x pertence ao conjunto, caso a avaliação seja falsa, então x não fará parte do conjunto. Podemos empregar uma função, que chamamos de função de pertinência, que retorna 0 e 1, para avaliar a condição de pertinência de um elemento em um conjunto. Se a condição for verdadeira a função retornará 1, caso contrário, retornará 0.

A lógica *fuzzy* lida com conjuntos *fuzzy*, que podem ser traduzidos como conjuntos nebulosos ou imprecisos [2, 19, 49], cuja função de pertinência não retornará apenas os valores 0 e 1, mas qualquer outro valor no intervalo $[0, 1]$, o que significa que pode haver vários graus de pertinência. Uma das formas de definir um conjunto *fuzzy* é a seguinte:

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X\}$$

Onde $\mu_{\tilde{A}}$ é a função de pertinência que mapeia os valores de X ao espaço de pertinência. No caso dos conjuntos convencionais, conhecidos também como conjuntos *crisp* (preciso ou nítido), o espaço de pertinência possui apenas os dois pontos 0 e 1. Conjuntos *fuzzy* também podem ser definidos como conjuntos *crisp*, onde cada elemento deste conjunto é representado através de pares da forma $(x, \mu_{\tilde{A}}(x))$. Como exemplo podemos apresentar o conjunto de escolas próximas de um corpo de bombeiros.

$$\tilde{A} = \{(0, 1.0), (1, 0.6), (2, 0.4), (8, 0.1)\}$$

Cada elemento do conjunto \tilde{A} é um par, onde o primeiro item é a menor distância entre a escola e o corpo de bombeiros, e o segundo item é o elemento correspondente do espaço de pertinência gerado pela função de pertinência $\mu_{\tilde{A}}(x)$. Dessa forma, podemos observar que o par (0, 1.0) representa a escola que é vizinha do corpo de bombeiros (distância = 0) e por isso possui o maior grau de pertinência com relação a \tilde{A} . Enquanto que (8, 0.1) representa a escola mais distante, pois está a 8 quilômetros do corpo de bombeiros em questão.

Na verdade, a lógica *fuzzy* é uma aplicação da Teoria dos conjuntos *fuzzy* [88]. Dentro do estudo da lógica *fuzzy* um objeto conhecido como variável lingüística é bastante conhecido. Estas variáveis não possuem números como valores, mas termos ou sentenças de uma linguagem natural ou artificial.

Uma variável lingüística é definida por uma quintupla $(x, T(x), U, G, \tilde{N})$, onde:

- x é o nome da variável
- $T(x)$ denota o conjunto de termos de x , isto é, o conjunto de nomes dos valores lingüísticos de x . Cada valor deste conjunto é um conjunto *fuzzy*;
- U é o universo de discurso dos conjuntos *fuzzy* que formam os termos de $T(x)$;
- G é a regra sintática, que usualmente tem a forma de uma gramática, para gerar os nomes dos valores lingüísticos;
- $\tilde{N}(X)$ é a regra semântica que atribui um significado ao termo X do conjunto $T(x)$, ou seja, $\tilde{N}(X)$ é um subconjunto *fuzzy* de U .

Tomemos como exemplo da aplicação de variáveis lingüísticas a variável $x = proximidade$, com conjunto de termos $T(proximidade) = \{muito\ perto, perto, longe, muito\ longe\}$, universo de discurso $U = [0.2\ Km, 80\ Km]$ e um dos valores de $\tilde{N}(X)$ como mostrado a seguir.

$$\tilde{N}(perto) = \{(u, \mu_{perto}(u)) \mid u \in [0.2\ Km, 80\ Km]\}$$

Como pode ser observado, a lógica *fuzzy* tem importante papel no provimento de relações qualitativas de distância, à medida que fornece meios para lidar com a imprecisão presente nestas relações. Porém, apesar de amplamente debatida pela comunidade de pesquisa em SIG [2, 19, 44, 64], a lógica *fuzzy* não tem sido usada com freqüência em SIG comerciais.

4.3.3 Mecanismos de Inferência

Inferir uma informação no âmbito de SIG significa que a partir de outras informações, definidas até mesmo para outro fim, seja gerada uma nova informação. Por exemplo, se a escola A é vizinha da escola B e a escola B está muito próxima de C, significa que a escola A está também muito próxima de C. Vale dizer que não há explicitamente nenhuma informação referente a relações de distância entre as escolas A e C.

A inferência é um importante conceito para os SIG à medida que a partir de relações entre objetos geográficos se pode obter outras relações sem a necessidade de armazenar dados

que definam explicitamente estas relações. Assim, alguns trabalhos [22, 32, 33, 45] são desenvolvidos com a finalidade de prover mecanismos de inferência que possam incrementar os SIG com esta importante funcionalidade.

Em [22] podemos encontrar a formalização do método *9IM* (*Nine Intersection Method*). Este método tem como objetivo determinar relações topológicas entre objetos geográficos através da análise de uma matriz de nove termos que representam interseções das fronteiras e interiores de dois objetos geográficos. O método *9IM* constitui um mecanismo de inferência utilizado em SIG para lidar com relações topológicas. O SIG MGE, é um exemplo [83].

4.4 Conclusão

Este capítulo procurou evidenciar a importância das relações de distância para os SIG atuais, colocando-as como ponto central neste trabalho. Traçamos uma breve comparação entre conceitos qualitativos e quantitativos de distância, que foi aprofundado através da apresentação de vários fatores que afetam distância sob a ótica do raciocínio espacial qualitativo. Mostramos que os SIG atuais utilizam mecanismos, como exemplo citamos zonas de *buffer*, para mensurar relações de distância entre objetos geográficos. Mecanismos como estes muitas vezes são insuficientes para prover informações de natureza qualitativa. Enfocamos o tema lógica *fuzzy* evidenciando sua grande utilidade no tratamento de incertezas e imprecisões comuns de dados espaciais, e a forma pela qual pode ser utilizada em SIG no levantamento de relações qualitativas.

O objetivo deste capítulo consistiu em prefaciar o capítulo subsequente que apresentará um protótipo de um sistema de distâncias qualitativas baseado nos aspectos de distância percorridos até aqui.

Capítulo 5

SDQ – Um Sistema de Distâncias Qualitativas

Uma maneira de aumentar a capacidade de provisão de informações dos SIG é incrementando suas funcionalidades através de operadores capazes de lidar com relações de distâncias qualitativas entre objetos geográficos [37]. Trabalhando nesse sentido, este capítulo apresenta o protótipo de um sistema capaz de lidar com relações de distância sob o ponto de vista do raciocínio espacial qualitativo através da utilização de operadores de distância. Este sistema é denominado de SDQ - Sistema de Distâncias Qualitativas.

Primeiramente, apresentamos neste capítulo, o modelo de dados utilizado, com suas principais classes e propriedades, e o ambiente no qual o SDQ foi implementado, que inclui funcionalidades como ferramentas para construção da interface gráfica e geração de código executável. O modelo de dados foi definido utilizando o ambiente de desenvolvimento do software ArcView em sua versão 3.2. A seguir, são apresentados detalhes de como utilizamos o modelo de dados para a implementação de todas as funcionalidades do SDQ para tratamento de distância, por meio de tabelas auxiliares, diagramas de estado e interfaces do sistema.

5.1 O Sistema ArcView

A base do sucesso do projeto de um sistema de informação é um modelo de dados que atenda satisfatoriamente a suas especificações. Por isso, tivemos a preocupação em utilizar um modelo que fosse ao encontro das especificações do SDQ.

Alguns modelos de dados foram criteriosamente analisados, no sentido de direcionar nosso projeto e fazer com que este trabalho estivesse em conformidade com padrões preestabelecidos. Dentre estes modelos, os padrões OpenGIS e SAIF, discutidos nas seções 2.6.2 e 2.6.3 do capítulo 2, respectivamente, tiveram uma atenção especial.

Para implementação do protótipo do SDQ, buscamos, entre várias plataformas de desenvolvimento, aquela que melhor atendesse a nossos requisitos, isto é, que provesse as classes básicas para o desenvolvimento de aplicações geográficas, juntamente com uma interface gráfica amigável tanto para o desenvolvedor quanto para o usuário final. Apesar de haver alternativas neste sentido em vários ambientes de desenvolvimento, como *Java* [48] e *Microsoft Visual Basic* [84], decidimos optar pelo ambiente do utilitário ArcView 3.2 da empresa canadense *Esri*. O ambiente ArcView, provê um completo conjunto de classes para desenvolvimento de aplicações geográficas [4], como também uma linguagem de desenvolvimento orientada a objetos denominada *Avenue*, cujas características estão em concordância com nossos propósitos de implementação dos operadores de distância.

Caso tivéssemos optado em desenvolver o protótipo utilizando uma abordagem que fosse independente de plataforma e pudesse ser mais facilmente portátil para outros ambientes, estaríamos aumentando bastante o escopo do SDQ, que teria que atender a requisitos que fogem dos nossos objetivos principais. Por exemplo, aspectos como interface, classes geográficas e estrutura de armazenamento teriam que ser abordados. Utilizando o ArcView, pudemos nos concentrar no foco do nosso trabalho que é a implementação de operadores para cálculo de distâncias qualitativas. Além do mais, a definição do modelo de dados ArcView possui um alto grau de conformidade com especificações abertas, como é o caso do OpenGIS [61, 62].

5.1.1 Modelo de Dados

Abordaremos nesta seção, os principais elementos do modelo de dados ArcView que são relevantes para o SDQ. Uma visão das funcionalidades destas classes é essencial para que detalhes da implementação do SDQ, abordados mais adiante, possam ser entendidos com clareza. Seguem algumas das principais classes do modelo de dados ArcView:

- *Feição*¹ – Elemento análogo à *feature* da especificação OpenGIS apresentada na seção 2.6.3 do capítulo 2. Representa as propriedades espaciais dos objetos geográficos.
- *Visão* – Provê o meio pelo qual os elementos que compõem um quadro de referência sejam visualizados, permitindo a interação do usuário com estes elementos. Mais adiante, na seção referente ao ambiente da aplicação, são apresentados mais detalhes sobre a classe *visão*.
- *Tema* – É a classe básica usada para instanciar um conjunto de objetos geográficos. Representa uma coleção de *feições* em uma *visão*. Por exemplo, se pretendemos incluir hospitais em uma *visão*, um *tema* hospital deverá ser criado para representar as *feições* “hospitais”.
- *FTema* – Representa um conjunto de *feições* de um *tema*.

¹ O termo *feição* definido aqui é uma tradução do termo *feature*. A definição de *feição* se assemelha com a de objeto geográfico, que frequentemente utilizamos no decorrer deste trabalho.

A figura 5.1 apresenta o modelo de dados com estes elementos. Como pode ser observado, uma *visão* é composta de *temas*. Outro detalhe importante é que, assim como *FTema*, *ITema* e *DBTema* também são especializações de *tema*. Estas duas últimas classes representam imagem e dados (provenientes de um banco de dados externo) de um *tema*, respectivamente. Elas não têm relevância neste trabalho, pois não utilizamos imagens, nem bancos de dados externos. Dessa forma, não abordaremos seus detalhes.

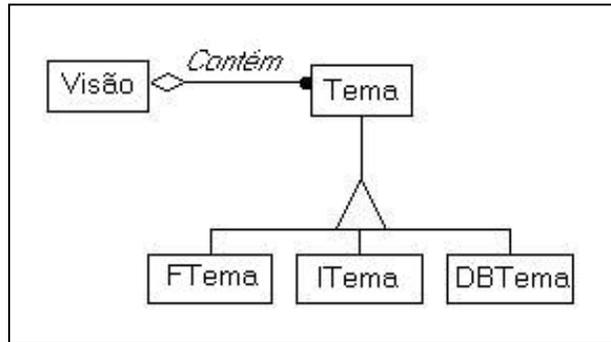


Figura 5.1: Composição de uma *Visão* [4]

A figura 5.2 mostra uma *visão* contendo estes elementos do ArcView. As setas associam o elemento a sua representação gráfica. A figura ilustra um quadro de referência com as comarcas da justiça do Estado do Piauí. Entre os *temas* podemos enumerar: estados vizinhos do Piauí; a capital Teresina; os rios do estado; as estradas federais; o oceano Atlântico; as cidades sedes das comarcas; e finalmente; as regiões de atuação de cada comarca. Como *feições* do *tema* “vizinhos” temos, por exemplo, os estados de Pernambuco, Ceará, Maranhão, e assim por diante. Da mesma maneira, as cidades Oeiras, Picos, Piripiri, entre muitas outras, são *feições* do *tema* “cidades”.

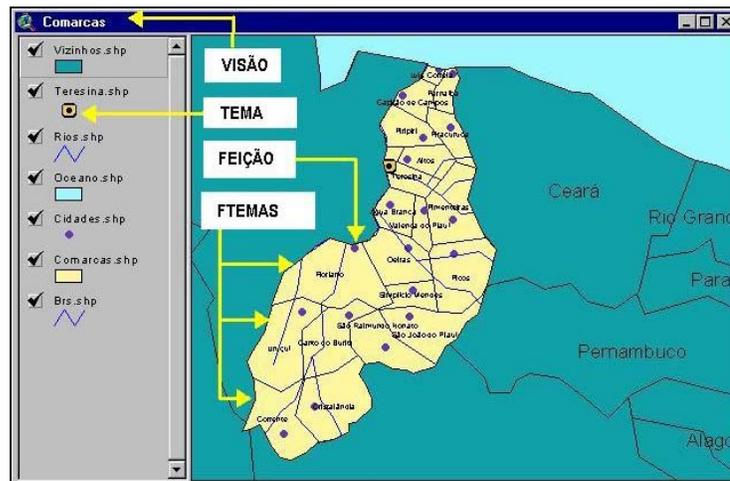


Figura 5.2: Uma *Visão* do ArcView 3.2

Os elementos do ArcView apresentados até aqui, são na verdade, classes que quando instanciadas representam elementos do mundo real. Estas instâncias, que são objetos geográficos, são armazenados em tabelas especiais, que são extensões de tabelas

relacionais convencionais, capazes de guardar aspectos geométricos além de vários outros atributos. A figura 5.3 ilustra como o ArcView armazena as *feições* de um determinado *tema*.

- *VTab* – Representa uma tabela virtual que serve como fonte de dados tabulares. Objetos da classe *VTab* são estruturas de dados análogas a tabelas relacionais.
- *FTab* - É uma especialização de *VTab* que, além de dados tabulares convencionais, armazena informações geométricas referentes às *feições*.
- *Campo* - Classe que representa os atributos de uma *feição*. É equivalente a um atributo nas tabelas relacionais.
- *Forma* - Classe que define o comportamento e a forma de um objeto geográfico. É importante ressaltar que toda a geometria representada por esta classe é plana. A figura 5.4 apresenta as subclasses da classe *Forma*.

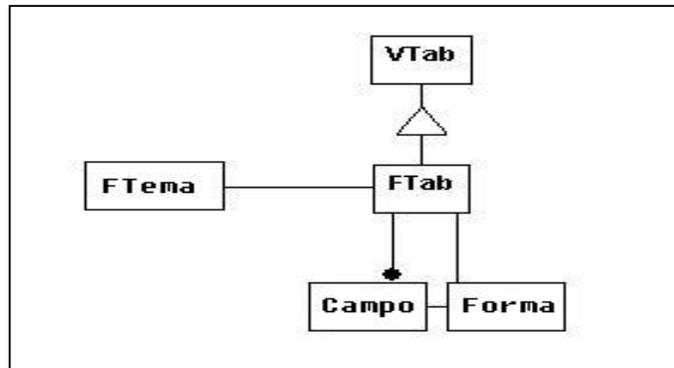


Figura 5.3: Classe *FTab* [4]

A tabela 5.1 é um exemplo de uma *FTab*, que está relacionada com o *tema* comarcas. Entre os *campos* desta *FTab*, temos: *Forma* (disposto na primeira coluna com o nome de *shape*); *id* (chave da tabela); *população*; *nome*; *número de servidores da justiça*; *número de processos criminais*; *taxa de mortalidade infantil*; *expectativa de vida* e *nome do juiz*. O *Campo Forma* merece atenção especial, pois é nele que estão armazenados o tipo de geometria de cada *feição*. Como pode ser observado, o *Campo Forma* armazena polígonos que representam as regiões das comarcas.

Tabela 5.1: Uma tabela da classe *FTab*

Shape	Id	Populacao	Nome	Num_serv	Num_procri	Tx_mortai	Tx_anali	Exp_vida	Juiz
Polygon	1	10000	Luis Correia	9	12	2	23	61	Manoel da Silva
Polygon	2	27235	Floriano	15	9	5	12	59	Raimundo dos Santos
Polygon	4	15784	Capitão de Campos	5	9	1	25	63	Antônio Alves
Polygon	6	15873	Cristalândia	5	6	3	25	53	João Fernandes
Polygon	8	42568	São Raimundo Nonato	19	8	6	13	61	Pedro dos Santos
Polygon	10	25436	Piracuruca	12	9	1	13	67	Pedro da Rocha
Polygon	13	152871	Picos	48	19	2	25	66	José Alves
Polygon	15	45879	Oeiras	13	13	2	2	59	Luiz de Sousa
Polygon	17	19458	Piripiri	15	32	2	31	57	Valério da Rocha
Polygon	18	24598	Corrente	11	9	1	25	58	Ruy Alves
Polygon	16	765263	Teresina	268	789	3	18	52	Manoel Lima
Polygon	19	65891	Altos	15	21	1	17	59	Joaquim da Silva

A classe *Forma* cujos objetos são armazenados em *FTabs*, apresenta várias subclasses que compõem o conjunto de geometrias e comportamentos assumidos pelos objetos geográficos representados por instâncias da classe *feição*.

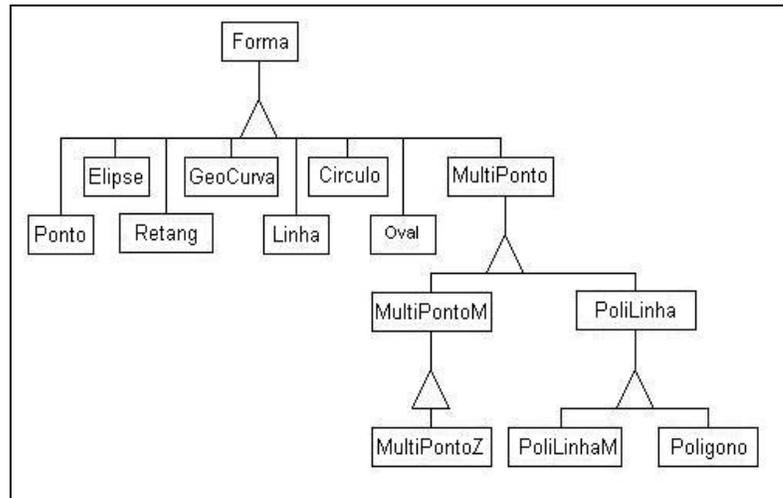


Figura 5.4: Classe *Forma*[4]

5.1.2 Ambiente da Aplicação

Buscaremos, nesta seção, abordar alguns elementos do ambiente no qual o SDQ foi desenvolvido, detalhando os principais recursos que foram utilizados para a implementação de suas funcionalidades. Ressaltamos que todas as classes relacionadas nesta seção representam funcionalidades do ArcView e não do SDQ.

O ambiente ArcView é uma instância de uma classe chamada *Aplicação*. Novas funcionalidades podem ser implementadas e incorporadas ao ambiente ArcView através de objetos da classe denominada *Extensão*. Como mostra a figura 5.5, uma instância de *aplicação* está associada a uma instância de *Projeto*, que por sua vez, é composto de instâncias das classes *Script*, *DocGUI* e *Doc*. Descrições detalhadas destas classes são apresentadas logo a seguir. O SDQ é na verdade uma instância da classe *Projeto*, onde, através das subclasses de *Doc*, foram instanciados os objetos que representam os componentes do sistema que permitem que todos os dados, tabulares ou geográficos, sejam visualizados e manipulados. Dessa forma, a classe *Doc* merece uma atenção especial. Faremos uma breve descrição de suas classes e subclasses que foram utilizadas na implementação do SDQ.

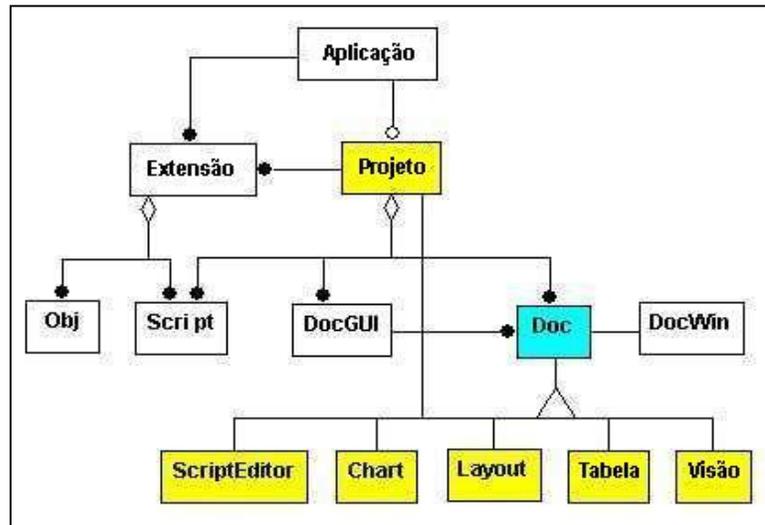


Figura 5.5: Classes do ambiente da aplicação [4]

- *Doc* – Esta classe provê meios para interação com todos os dados de uma aplicação SIG. Os objetos desta classe são chamados de documentos. Os tipos de documentos disponíveis são as especializações de *doc*, as quais descreveremos a seguir.

 - *Visão* – Um documento do tipo *Visão* provê mecanismos de consulta e visualização dos conjuntos de temas definidos pelo usuário. A seção 5.1.1 já definiu esta classe na descrição do modelo de dados do ArcView. Aqui, a classe *Visão* está dentro de um contexto mais amplo. A figura 5.1 pode ser vista em conjunto com a figura 5.5.
 - *Tabela* – É o documento que funciona como visualizador dos dados armazenados em tabelas *VTab*. O objeto da classe *Tabela* disponibiliza os dados em linhas e colunas, juntamente com uma série de funções de manipulação destes dados, como: inserção, exclusão, seleção, junção, ordenação, entre outros. Operações para manipulação da estrutura de uma *VTab* também são disponibilizadas.
 - *Layout* – É um tipo de documento que provê ao usuário, funcionalidades que permitem que vários objetos gráficos possam ser organizados em um formato para impressão, ou em um formato que possa ser convertido para arquivos gráficos.
 - *Chart* – Apresenta dados tabulares em forma de gráfico. Todo *Chart* está associado a uma *VTab*, da qual são provenientes os dados dos registros e campos selecionados para sua composição.
 - *ScriptEditor* – Provê ao usuário, mecanismos para a criação e execução de *scripts Avenue*.
- *DocWin* – Um objeto desta classe representa a janela em que um documento é visualizado.

Das classes apresentadas nesta seção, nem todas foram efetivamente utilizadas na implementação do SDQ, como por exemplo, *Chart* e *Layout*. Já as subclasses de *DocVisão*, *Tabela* e *ScriptEditor*, tiveram um importante papel na implementação.

5.1.3 Interface Gráfica

Esta seção, através da descrição da interface gráfica disponibilizada pelo ArcView, tem como meta completar as informações referentes ao ambiente da nossa aplicação.

O objetivo central do SDQ são os operadores para cálculo de distância qualitativa. Para que estes operadores possam ser utilizados de forma eficiente pelo usuário final, tivemos a preocupação em construir uma interface onde estes operadores pudessem ser utilizados facilmente. Para que isto fosse possível, havia a necessidade de termos a nossa disposição, meios para criar esta interface. O conjunto de classes que compõem a interface gráfica do ArcView 3.2 atendeu plenamente a este importante requisito.

A interface gráfica do ArcView 3.2 possui funcionalidades que permitem, por exemplo, construir *menus*, selecionar objetos, manter objetos geográficos, e assim por diante. Enfim, ela provê meios para a construção de uma interface personalizada para que o usuário final possa facilmente fazer uso dos recursos disponíveis no SDQ.

Basicamente, a interface gráfica do ArcView é composta por objetos da subclasse *DocGUI* (*Document Graphical User Interface*) que representa uma coleção de controles que são usados para interagir com um documento. Os objetos que compõem esta coleção são barras de menu, barras de botões, barras de ferramentas e menus *Popup*. A figura 5.6 define bem as classes que compõem uma *DocGUI*. Dentre todas estas classes, algumas merecem destaque por terem sido utilizadas na construção da interface do SDQ:

- *Control* – É a classe que define os controles da interface com o usuário: botões, ferramentas, linhas divisórias e conjunto de controles.
- *Choice* – Representa um item de um menu. Quando um item é clicado, uma ação é executada através de um *script*. Os *scripts* implementados para as funcionalidades do SQA são executados pelo usuário através da seleção dos itens da barra de *menu*.
- *ControlSet* – É a classe que define propriedades gerais e métodos para coleções de controles. Para estar disponível na *DocGUI* um controle deve pertencer a um *ControlSet*.
- *Menu* – É um *ControlSet* que gerencia uma coleção de itens e linhas divisórias.
- *MenuBar* – Representa uma barra de menus que contém uma coleção de menus. Uma *MenuBar* está localizada na primeira linha de uma *DocGUI*.
- *ToolBar* – De forma análoga a *MenuBar*, uma *ToolBar* representa uma barra de ferramentas. Está localizada na segunda linha de uma *DocGUI*.

Como veremos mais adiante, a interface do SDQ foi basicamente implementada através da criação de objetos destas classes. A barra de menu do SDQ, por exemplo, é uma instância da classe *MenuBar* onde foram disponibilizadas algumas de suas funcionalidades.

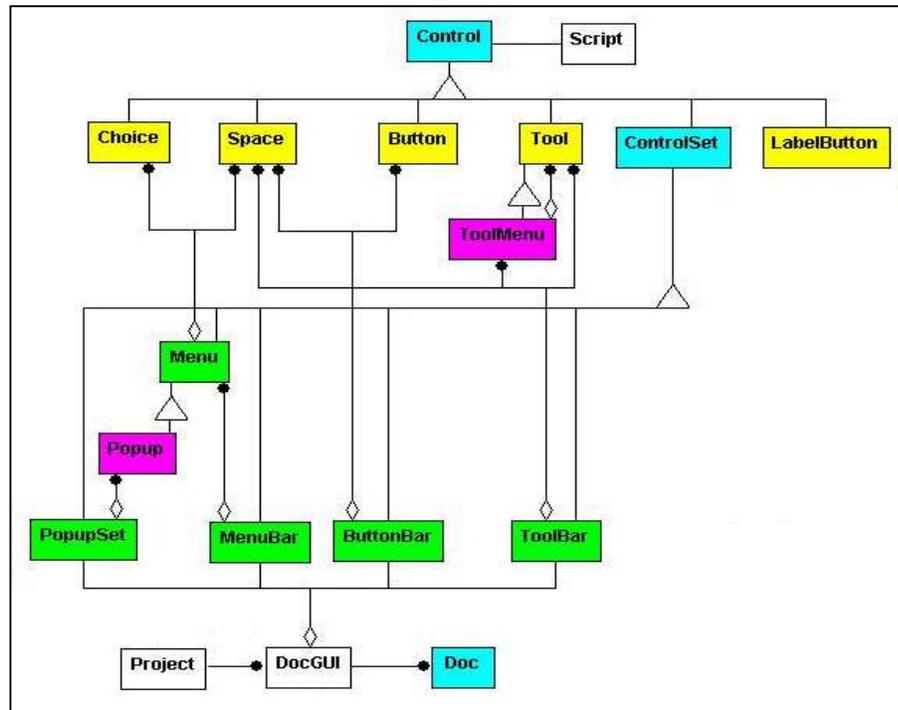


Figura 5.6: Composição da *DocGUI* [3, 4]

As classes que compõem a interface gráfica do ArcView seguem basicamente o mesmo padrão dos ambientes de desenvolvimento orientados a objetos. Dessa forma, podemos afirmar que a interface do SDQ segue padrões bastante difundidos.

Para finalizar a abordagem sobre as classes do ambiente de uma aplicação ArcView, um ponto importante a ser ressaltado é a ortogonalidade das classes dos sistemas orientados a objetos. A ortogonalidade faz com que os conceitos associados a objetos satisfaçam variados propósitos em um ambiente SIG. Como podemos verificar, já abordamos classes para finalidades totalmente distintas. Como por exemplo, discorremos sobre classes que constituem o modelo de dados e sobre classes que compõem a interface gráfica. Isto faz com que todas as classes aqui apresentadas definam um quadro bastante geral da nossa aplicação.

É importante ressaltar, que todas as classes citadas da interface gráfica são pertinentes às bibliotecas do ArcView. Mais adiante, na seção 5.3, que trata dos detalhes da implementação do SDQ, mostraremos como estas classes foram utilizadas na construção do nosso protótipo.

5.2 Fatores que Definem Distância no SDQ

Esta seção objetiva apresentar como o SDQ trata cada um dos fatores que influenciam o cálculo de distância qualitativa. A maneira como estes fatores podem influenciar o raciocínio humano sobre distância foi abordado no capítulo 4. O que discutiremos agora é como o SDQ incorporou estes fatores em suas funcionalidades. A distância no SDQ será determinada conforme o grau de influência de cada um destes fatores.

Os fatores que definem distância no SDQ são basicamente: atratividade, acessibilidade, posição dos objetos e escala. Cada um destes fatores pode estar associado ao objeto, ao tema, à relação de distância ou ao quadro de referência, como mostra a tabela 5.2. Assim, foram associados atributos aos objetos geográficos e aos seus temas, para que estes incorporassem todos estes fatores. Por exemplo, cada objeto do SDQ e seu respectivo tema possuem atributos cujo valor determina o grau de atratividade daquele objeto ou tema.

Tabela 5.2: Localização dos dados para ponderação dos fatores no SDQ

Fatores Ponderados	Elementos do SDQ			
	Objeto	Tema	Relação de Distância	Quadro de Referência
Atratividade	x	x		
Acessibilidade			x	x
Posição dos Objetos				x
Escala		x		

Como pode ser observado na tabela 5.2, os objetos e os temas não possuem atributos que determinam, por exemplo, os fatores *acessibilidade* e *posição de objetos*. Isto ocorre pelo fato de um objeto ou tema por si só não serem suficientes para que estes fatores possam ser considerados na avaliação de distância. A acessibilidade de um objeto, por exemplo, depende diretamente do outro objeto com o qual ele se relaciona, como também de outros objetos do quadro de referência, como veremos em detalhes na seção 5.2.2, e por isso o fator acessibilidade depende diretamente da relação de distância e do quadro de referência.

Quando um fator está associado à relação de distância, significa que este fator depende de atributos dos objetos de referência que compõem a relação. E quando um fator está associado a um quadro de referência, significa que este fator depende de outros objetos além dos que compõem a relação.

Os atributos de objetos e temas, que são usados no cálculo da distância para ponderar os fatores, são armazenados em tabelas relacionais. Como também, os atributos das relações entre objetos. Dentre estas tabelas, que são discutidas na seção 5.3.3, destacamos: AUX_RELACAO e AUX_TEMA, que armazenam atributos das relações e dos temas, respectivamente.

A ponderação dos fatores *posição dos objetos* e *escala* é realizada incondicionalmente pelo SDQ. No entanto, os fatores *acessibilidade* e *atratividade* podem ser ou não ponderados de

acordo com configurações do sistema. Isto evita que a ponderação destes fatores seja realizada quando não há necessidade.

5.2.1 Atratividade

O fator atratividade exerce uma relevante influência sobre o cálculo de distância, a medida que a distância entre dois objetos pode variar de acordo com o grau de atratividade de cada um. Um objeto com um alto grau de atratividade gera uma noção de menor proximidade. Como foi dito na seção 4.2.3, podemos afirmar que uma casa e uma escola estão longe quando a distância que as separa for de cinco quilômetros, porém, a mesma casa e um depósito de lixo poderiam estar perto para esta mesma distância. Isto ocorre porque uma escola é mais “atrativa” que um depósito de lixo.

Para tratar a questão da atratividade, criamos atributos para objetos e temas, que determinam o grau de atratividade de cada um deles. Caso tivéssemos criados estes atributos apenas para os objetos, ou apenas para os temas, poderia ser suficiente em primeira análise. Porém, percebemos que a atratividade pode estar relacionada tanto com um tema quanto com um objeto específico deste tema. Considerando, por exemplo, um tema que represente depósitos de lixo, o grau de atratividade associado a este tema determinará que depósitos de lixo são pouco atrativos, porém há a necessidade de determinar graus de atratividade para depósitos de lixo específicos, como por exemplo, um depósito de lixo hospitalar, que possui atratividade ainda menor.

O SDQ poderia tratar a questão da atratividade considerando não somente os atributos de objetos ou temas de forma independente, mas considerando a relação entre estes dois objetos de referência. Assim, um depósito de lixo e uma escola poderiam ter baixa atratividade, porém, para a relação entre este mesmo depósito de lixo e uma companhia de reciclagem, a atratividade seria alta. Apesar de constarmos a relevância deste aspecto, percebemos que considerá-lo no SDQ seria uma tarefa complexa, dada a subjetividade que envolve determinar atratividade em termos das relações entre os objetos. Com isto, resolvemos não considerar este aspecto.

As tabelas 5.3(a) e 5.3(b) apresentam os atributos que determinarão o grau de atratividade dos objetos e dos temas. O atributo *FtTraf*, que compõe a tabela AUX_TEMA, representa o fator trafegabilidade e será explicado na seção seguinte.

Tabela 5.3(a): Tabela referente aos objetos do tema hospital

Shape	ID	Nome	Fctrat
Point	1	SÃO PAULO	2
Point	2	CASA MATER	3
Point	3	SÃO MARCOS	2
Point	4	MATERNIDADE	2
Point	5	SANTA CASA	3
Point	6	DEOLINDO COUTO	2
Point	7	INFANTIL	2
Point	8	PRONTOCOR	1
Point	9	PROCARDIACO	3
Point	10	HDIC	2
Point	11	SAMIL	0

Tabela 5.3(b): Tabela referente aos temas

Nome	Fctrat	Fttrat	EscalaMin	EscalaMax	FtFct	TipoBuffer	ExtBuffer
PRAÇA	3	0	5000	20000	3	1	100
HOSPITAL	2	0	5000	30000	0	0	0
MUNICÍPIO	2	0	50000	80000	0	0	0
RUA	1	2	4000	10000	0	0	0
ESCOLA	3	0	5000	30000	0	0	0
RODOVIA - ASFALTO	2	3	60000	100000	0	0	0
RODOVIA - TERRA	0	1	60000	100000	0	0	0

O fator de atratividade é definido pelo usuário através de uma função disponibilizada no SDQ. Esta funcionalidade é explicada em detalhes, na seção 5.4, que trata das funcionalidades do protótipo, como o usuário procede para informar o grau de atratividade de um objeto ou tema. Definir quão atrativo é um objeto ou tema é algo um tanto subjetivo, que depende diretamente do ponto de vista do usuário sobre determinada situação. Uma escola, por exemplo, pode ser atrativa quando vista como um local de estudo, mas pode não ser, se vista como um local que provavelmente causa o congestionamento de veículos ao seu redor. Apesar de reconhecermos que, para lidar com esta questão, o melhor tratamento para o fator atratividade seria calculá-lo com base na relação, o fator atratividade, no SDQ, depende apenas de atributos dos objetos ou temas.

No capítulo seguinte, onde discutimos trabalhos futuros, sugerimos a implementação de uma funcionalidade que automatize o cálculo da atratividade com base em atributos dos objetos ou temas. Isto faria com que atributos relacionados com a atratividade dos objetos fossem ponderados, tendo em vista que indiretamente eles interferem no conceito de distância. Como exemplo, tomemos um objeto que representa um hospital. A atratividade deste objeto poderá depender de atributos como: número de leitos, disponibilidade de

equipamentos, especialidade médica, e assim por diante. Esta funcionalidade eliminaria a necessidade do usuário definir explicitamente o grau de atratividade de um objeto ou tema.

Caso os atributos de atratividade tenham valores definidos tanto para o tema quanto para o objeto, prevalecerá no SDQ, o valor definido para o objeto. Esta regra vale para todos os outros atributos, de objetos e de temas, que definem fatores que influenciam na distância.

Quando o quadro de referência for composto de objetos com mesmo grau de atratividade, não haverá a necessidade da ponderação deste fator. Assim, o sistema pode ser configurado para não tratar atratividade.

5.2.2 Acessibilidade

O fator acessibilidade diz respeito às condições de, partindo de um determinado objeto, chegarmos a um outro objeto. Primeiramente, é importante evidenciar que acessibilidade é um fator de uma relação entre dois objetos, diferentemente da atratividade que, no SDQ, pode estar associada a um objeto ou a um tema. Não dizemos, por exemplo, que a cidade A é muito acessível, mas que, partindo da cidade B, a cidade A é muito acessível, ou, que a acessibilidade entre as cidades A e B é muito boa.

Este fator não está associado explicitamente a atributos dos objetos de referência ou dos seus respectivos temas. A acessibilidade está associada aos objetos trafegáveis que estão na região entre os objetos de referência. Por exemplo, para medir o grau de acessibilidade entre as cidades A e B, os objetos trafegáveis que estão no caminho entre as duas cidades são considerados, o que não ocorre com os atributos das cidades A e B. Exemplos de objetos trafegáveis são ferrovias, rodovias, ruas, rios navegáveis, linhas de metrô, enfim, objetos através dos quais podemos trafegar.

Objetos trafegáveis no SDQ são representados por segmentos de linhas, embora reconhecemos que pode haver objetos trafegáveis representados por regiões. Porém, o tráfego através destas regiões é linear. Um exemplo disto é o oceano atlântico que poderia ser representado como uma região trafegável, no entanto, a trafegabilidade está associada a uma linha marítima, por exemplo, e não ao oceano.

Cada objeto trafegável terá um atributo que representa seu grau de trafegabilidade. Uma estrada asfaltada, por exemplo, terá o grau de trafegabilidade maior que uma estrada de terra.

O processo para o cálculo do grau de acessibilidade entre dois objetos segue os seguintes passos:

- 1) O SDQ define uma linha virtual ligando os objetos de referência.
- 2) É gerada uma zona de buffer para esta linha. A extensão desta zona de buffer será diretamente proporcional à distância quantitativa que separa os objetos.
- 3) É efetuada a interseção entre a zona de buffer e todos os objetos trafegáveis do quadro de referência.

- 4) Para cada objeto trafegável que intercepta a zona de *buffer* é calculado um fator de acessibilidade parcial com base na extensão da interseção e em seu fator de trafegabilidade. O fator de acessibilidade parcial é dado por: $FtTraf_i \times Tam(I_i)$, como pode ser observado na fórmula apresentada abaixo.
- 5) O fator de acessibilidade entre os objetos de referência será a soma de todos os fatores de acessibilidade parciais calculados no item 4 dividido pela distância entre estes objetos. O fator de acessibilidade pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$FtAces = \sum_{i=1}^n \frac{FtTraf_i \times Tam(I_i)}{d} \quad (i)$$

Onde:

- $FtTraf$ é o grau de trafegabilidade dos objetos trafegáveis;
- I é o conjunto dos segmentos de linha resultante das interseções entre a zona de *buffer* e os objetos trafegáveis;
- $Tam(x)$ é uma função que retorna a extensão de um segmento de linha;
- d é a distância quantitativa entre os objetos de referência;
- $FtAces$ é o fator que representa o grau de acessibilidade entre os objetos de referência;

A figura 5.7 apresenta todos os elementos utilizados para o cálculo da acessibilidade entre dois objetos.

O SDQ disponibiliza para o usuário, através da barra de menus, uma função que realiza este processo de geração do fator de acessibilidade entre objetos. Os fatores de acessibilidade calculados são armazenados na tabela auxiliar AUX_RELACAO, que será discutida na seção 5.3.3.

Como ocorre com o fator atratividade, o fator de trafegabilidade, dos objetos ou temas trafegáveis, é também definido pelo usuário através de uma função disponibilizada no SDQ, que será explicada em detalhes na seção 5.4.

Um ponto interessante, pertinente às funcionalidades do SDQ para tratamento do fator acessibilidade, é a possibilidade de alterar de forma flexível o grau de trafegabilidade dos objetos trafegáveis. Por exemplo, caso uma linha de metrô não esteja operando em sua plenitude, seu grau de trafegabilidade poderá ser facilmente alterado para refletir esta situação, o que afetaria diretamente a acessibilidade entre os objetos ligados por esta linha.

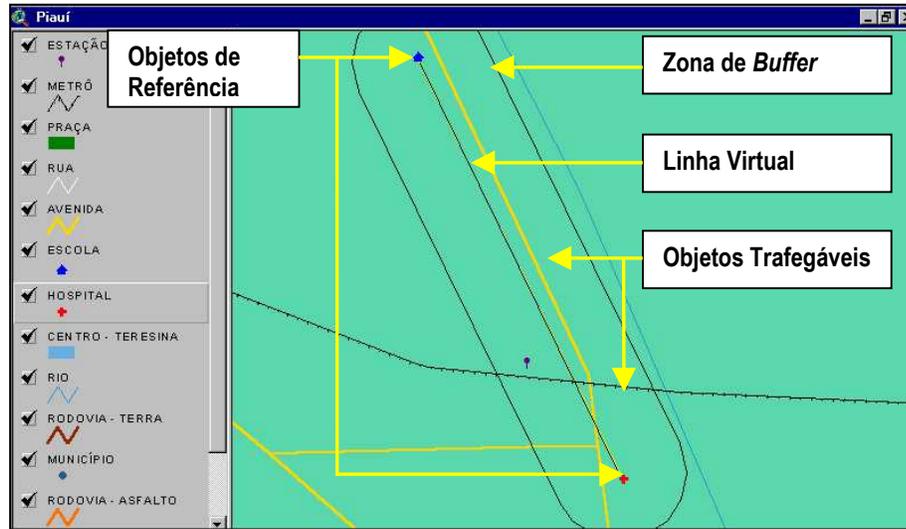


Figura 5.7: Quadro de referência para cálculo da acessibilidade

5.2.3 Posição dos Objetos

Talvez este seja um dos mais importantes dentre todos os fatores que afetam o raciocínio sobre distância. Este fator trata da influência exercida pela posição de objetos que compõem o quadro de referência sobre o conceito de distância. Vale lembrar, que estes objetos exercem influência, apesar de não serem os objetos de referência da relação de distância.

Apresentamos a seguir os passos para ponderação deste fator pelo SDQ.

- 1) Inicialmente, o sistema acessa a tabela auxiliar de relações AUX_RELACAO, e seleciona todos os registros contendo relações entre objetos dos temas dos objetos de referência. Ou seja, se os objetos de referência forem, por exemplo, uma escola e um hospital, como mostra a figura 5.8, então serão selecionados todos registros cujos objetos sejam dos temas *escola* ou *hospital*. A tabela 5.4 mostra que nove registros são selecionados para este caso.

Tabela 5.4: Tabela auxiliar de relação com registros selecionados

AUX_RELACAO						
TemaObj1	IDObj1	TemaObj2	IDObj2	Relacao	DistAbs	FtAces
HOSPITAL	1	ESCOLA	4	DISTANCIA	2.366	1
HOSPITAL	5	ESCOLA	3	DISTANCIA	1.650	4
HOSPITAL	3	ESCOLA	8	DISTANCIA	3.891	2
ESCOLA	12	ESCOLA	9	DISTANCIA	1.560	8
ESCOLA	7	ESCOLA	5	DISTANCIA	12.562	8
ESCOLA	7	ESCOLA	4	DISTANCIA	9.614	4
HOSPITAL	1	HOSPITAL	2	DISTANCIA	5.569	7
HOSPITAL	6	ESCOLA	3	DISTANCIA	2.033	5
HOSPITAL	10	ESCOLA	6	DISTANCIA	6.231	3
CIDADE	26	CIDADE	5	DISTANCIA	48.832	6

- 2) Para cada registro selecionado, o sistema pondera todos os outros fatores e obtém o que chamamos de distância parcial. A distância parcial é a obtida com base nos fatores acessibilidade e atratividade. A distância parcial é definida pela seguinte fórmula:

$$DistParc = DistAbs \times FtAces \times (Atratividade(Obj1) + Atratividade(Obj2)) \quad (i)$$

Onde:

- *Obj1* e *Obj2* são os objetos de referência;
 - *DisAbs* é a distância quantitativa entre *Obj1* e *Obj2*;
 - *FtAces* é o fator de acessibilidade da relação entre *Obj1* e *Obj2*;
 - *Atratividade* é uma função que retorna o fator de atratividade de um objeto;
- 3) Obtidas todas as distâncias parciais para cada registro, inclusive as distância parcial entre os objetos de referência, o passo seguinte é finalmente calcular a distância qualitativa, entre os objetos de referência, com base em todas as distâncias parciais obtidas. Dessa forma, o valor da distância qualitativa dependerá da posição de outros objetos. Para isto, o SDQ seleciona a menor distância parcial calculada, e utilizando lógica *fuzzy*, aplica uma função de pertinência [2, 44] que determinará quão próximo é o valor da distância parcial dos objetos de referência do valor da menor distância parcial encontrada. O valor retornado pela função de pertinência é a distância qualitativa. A utilização da lógica *fuzzy* neste procedimento é discutida em detalhes da seção 5.3.2.

Como discutido capítulo 4, na seção 4.2.5, tamanho dos objetos de referência é um fator que influencia o raciocínio sobre distância. Apesar do SDQ não considerar este fator ao determinar relações de distância, ele pode ser facilmente incluído como um outro fator na composição da equação (i). O fator tamanho, assim como atratividade, seria representado por chamadas a funções que retornam a área dos objetos de referência.

A figura 5.8 representa um exemplo de um quadro de referência no qual se deseja calcular a distância qualitativa entre a escola e o hospital. Estes objetos de referência estão apontados na figura.

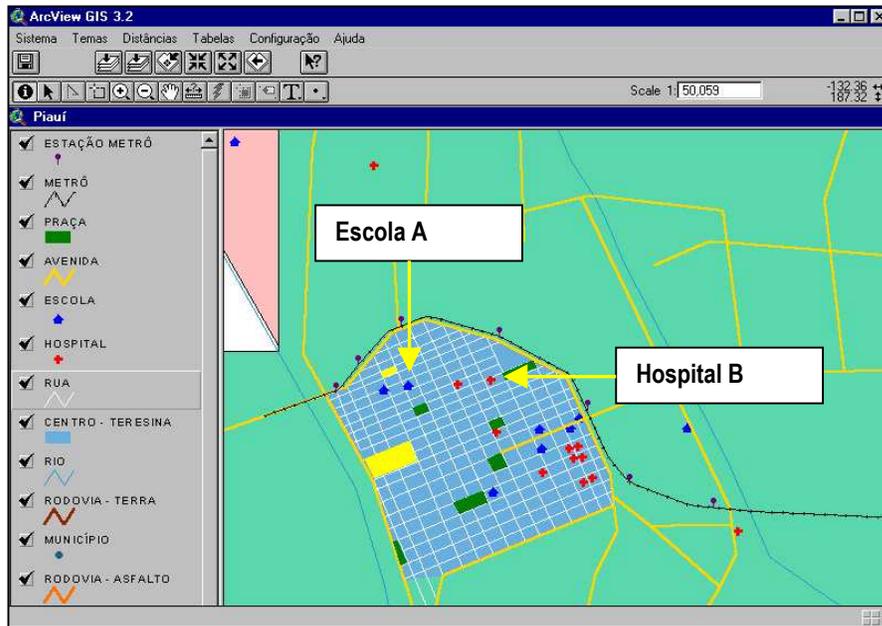


Figura 5.8: Distância entre a escola A e o hospital B

5.2.4 Escala

Considerando que relações de distâncias obtidas em diferentes escalas, com os mesmos objetos de referência, podem gerar resultados distintos, dispensamos uma atenção especial para que o SDQ lide de forma eficiente com o fator escala.

A questão da escala é tratada no SDQ no sentido que consultas, para objetos de referência em diferentes escalas, que venham a gerar informações inconsistentes, não possam ser realizadas. Para isto, utilizamos atributos que determinam a escala máxima e a escala mínima permitida. Utilizando estes atributos podemos fazer com que consultas só possam ser realizadas quando as escalas máximas e mínimas dos objetos de referências forem compatíveis, ou melhor, quando houver algum valor em comum entre as escalas máxima e mínima.

Consideremos, como exemplo, dois temas. Um que representa avenidas de uma cidade e tem como escala mínima o valor 1.000 e máxima, o valor 5.000. E outro que representa cidades de um estado brasileiro, cujas escalas mínima e máxima são 20.000 e 100.000, respectivamente. Entre objetos destes dois temas, nenhuma consulta relacionada com distância poderá ser realizada no SDQ, pois não há nenhum valor comum entre os intervalos $[1.000, 5.000]$ e $[20.000, 100.000]$. Desta maneira, é evitado que distâncias entre avenidas de uma cidade e cidades de um estado possam ser calculadas.

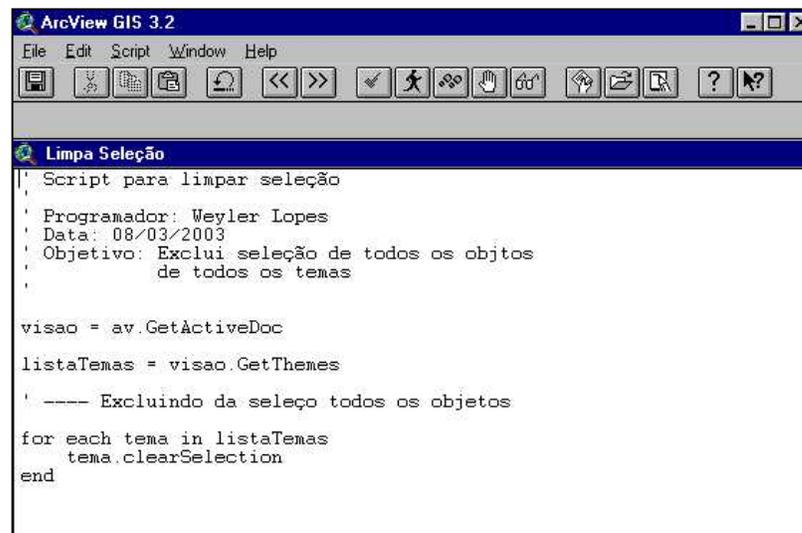
Os atributos das escalas máximas e mínimas são utilizados também para evitar que consultas, mesmo para objetos do mesmo tema, não possam ser realizadas para escalas fora do intervalo delimitado pelas escalas mínima e máxima. Com isto, inconsistências como a apresentada na seção 4.2.2, onde a cidade de São Paulo está perto de Manaus em uma escala grande e longe em uma escala menor, são evitadas.

5.3 Detalhes da Implementação do SDQ

Esta seção tem como objetivo apresentar detalhes de como implementamos o SDQ para efetuar cálculo de distância baseado em todos os fatores apresentados na seção anterior.

O SDQ foi desenvolvido basicamente através de *scripts* codificados em Avenue. Avenue é uma linguagem de programação que faz parte do software ArcView 3.2. Através de Avenue podemos customizar e desenvolver ambientes para aplicações SIG, sendo possível incluir novas funcionalidades e personalizar interfaces [29].

A classe *scriptEditor*, abordada na seção 5.1.2, possui todas as funcionalidades necessárias para a implementação, compilação e execução de *scripts*. A execução dos *scripts* do SDQ está associada a itens da barra de menus de uma *visão*.



```

Script para limpar seleção
:
: Programador: Weyler Lopes
: Data: 08/03/2003
: Objetivo: Exclui seleção de todos os objetos
:           de todos os temas
:
visao = av.GetActiveDoc
listaTemas = visao.GetThemes
' ---- Excluindo da seleção todos os objetos
for each tema in listaTemas
  tema.clearSelection
end
  
```

Figura 5.9: Script em Avenue

A figura 5.9 apresenta um exemplo de um pequeno *script* implementado para apagar a seleção de objetos de uma determinada consulta.

5.3.1 Tratando Objetos Estendidos

As funções disponíveis no SDQ tratam distância entre objetos estendidos. Vale lembrar, que objetos estendidos são objetos representados por figuras geométricas de mais de uma dimensão. Para isto, o ponto da região, representada pelo objeto estendido, que deve ser considerado na efetuação do cálculo, merece uma atenção especial. Neste trabalho, chamamos este ponto de ponto de referência.

Para distâncias entre objetos representados por pontos e retas, consideramos como ponto de referência sempre os pontos mais próximos entre os objetos em questão. No caso de objetos representados por polígonos, consideramos três possíveis pontos da região

representada pelo polígono que podem servir de referência. Estes pontos são descritos a seguir:

- Ponto central – O ponto central do retângulo mínimo no qual o objeto está inserido. Caso este ponto esteja fora do polígono, o ponto a ser considerado será o ponto de fronteira mais próximo.
- Ponto da fronteira – O ponto de fronteira mais próximo do outro objeto de referência.
- Ponto da fronteira de zona de *buffer* – Ponto de fronteira de uma zona de *buffer* interna ou externa ao polígono. A distância entre a fronteira da zona de *buffer* e a fronteira do objeto é definida pelo usuário através de atributos do objeto ou do tema.

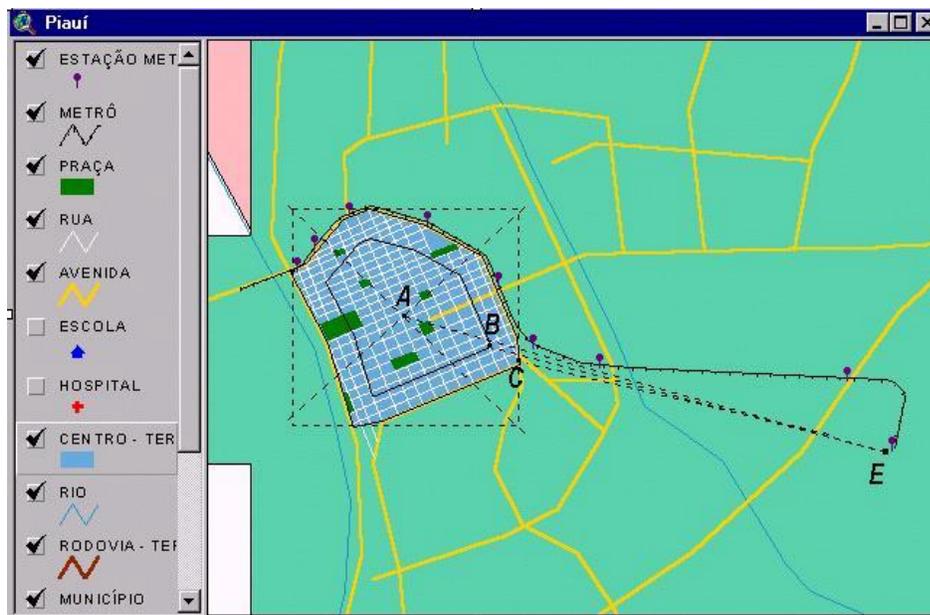


Figura 5.10: Distintos pontos de referência

A figura 5.10 ilustra todos os pontos de referência que podem ser considerados para obter a distância entre o centro de Teresina e a estação terminal do metrô. O ponto A representa o ponto central do polígono que representa o centro da cidade. O ponto B representa o ponto da fronteira de zona de *buffer* interna, cuja extensão é de duzentos metros, isto é, a fronteira da zona de *buffer* está a duzentos metros, para dentro, da fronteira do objeto. O ponto C representa o ponto da fronteira mais próximo. Como pode ser observado, a distância que separa estes pontos de referência do ponto E, que representa a estação terminal do metrô, pode variar dependendo do ponto de referência.

Para todo objeto selecionado que tiver mais de uma dimensão, como os polígonos, o SDQ busca o tipo do ponto de referência associado a este objeto, que poderá ser um atributo do próprio objeto, do tema o qual ele pertence, ou da configuração global do sistema. Primeiramente, é verificado se o objeto tem em seu atributo, que é destinado a armazenar o tipo de ponto de referência, um valor definido. Caso negativo, de forma análoga, verifica-se também se o tema tem o valor definido em seu atributo. Caso o tema também não tenha

tal informação, a configuração global do sistema será levada em consideração. Como pode ser notado, a configuração global só será considerada se nem o objeto e nem o tema tiverem sido configurados, assim como, a configuração do tema só será considerada caso o objeto não tenha sido configurado. Sempre é obedecida a ordem de configuração do objeto, tema e variável global. Veremos mais adiante que esta ordem é utilizada para lidar com outras configurações.

É importante ressaltar que a questão do ponto de referência é pertinente entre todas as situações que envolvem cálculo de distância, como por exemplo, para o cálculo de distâncias qualitativas e geração da tabela auxiliar de relações de distância, como será mostrado adiante.

5.3.2 Utilização da Lógica *Fuzzy*

No capítulo anterior, na seção 4.3.2, apresentamos uma introdução da lógica *fuzzy*. Citamos alguns exemplos de conjuntos *fuzzy*, como também discutimos sobre o papel da função de pertinência na definição destes conjuntos.

Utilizamos a lógica *fuzzy* no SDQ como um meio de determinar o grau de proximidade entre dois objetos, levando em consideração uma distância como referência. Isto é, para determinar a distância entre uma escola A e um hospital B, a distância usada como referência é a menor distância que separa uma escola de um hospital do cenário em questão. Caso esta menor distância seja oitocentos metros, por exemplo, todas as distâncias entre hospitais e escolas serão determinadas com base neste valor. Dessa maneira, a distância qualitativa é provida por uma função de pertinência que tem como entrada a menor distância e a distância parcial entre os objetos de referência, discutida na seção 5.2.3. Esta função é definida pela seguinte fórmula:

$$\mu_{\text{próximo}}(\text{DistParc}) = (1 + (\text{DistParc} - \text{DistMin})^2)^{-1} \quad (i)$$

onde:

- *DistParc* é a distância parcial entre os objetos de referência.
- *DistMin* é a distância mínima usada como referência.

Em [44], há exemplo de uma função de pertinência similar utilizada para determinar a intensidade da luminosidade que um objeto recebe quando localizado a uma distância *d* de uma fonte de luz.

Como pode ser verificado, a função de pertinência retorna um valor do intervalo [0,1]. Para que o resultado fornecido para o usuário seja expresso de forma qualitativa, o SDQ associa este valor a uma variável lingüística. Esta associação é realizada de acordo com o número de níveis de proximidade definidos pelo usuário. Por exemplo, caso sejam definidos dois níveis de proximidade (*perto* e *longe*), valores do subintervalo [0, 0.5] são associados a *perto* e valores de (0.5, 1] são associados a *longe*. O intervalo [0,1] é dividido

proporcionalmente pelo número de níveis para que os subintervalos usados na associação sejam definidos.

O SDQ trabalha com o conjunto $T_{proximidade}$ de variáveis lingüísticas definido através dos seguintes elementos:

$$T_{proximidade} = \{ vizinho, muito perto, perto, longe, muito longe, inacessível \}$$

Os elementos deste conjunto que serão associados à distância qualitativa dependerão da quantidade de níveis de referência que o usuário deseja trabalhar. Caso o usuário atribua dois ao número de níveis, SDQ utilizará apenas os elementos *perto* e *longe*. A tabela 5.5 apresenta as variáveis lingüísticas utilizadas pelo SDQ conforme a quantidade de níveis definidos pelo usuário.

Tabela 5.5: Variáveis Lingüísticas por quantidade de níveis

Quantidade de Níveis	Variáveis Lingüísticas Utilizadas
2	<i>perto, longe</i>
3	<i>muito perto, perto, longe</i>
4	<i>muito perto, perto, longe, muito longe</i>
5	<i>vizinho, muito perto, perto, longe, muito longe</i>
6	<i>vizinho, muito perto, perto, longe, muito longe, inacessível</i>

A quantidade de níveis de intervalo definida pelo usuário dependerá do grau de refinamento desejado para o resultado de sua consulta.

5.3.3 Variáveis Globais

O SDQ permite que suas funcionalidades sejam configuradas pelo usuário, possibilitando que aspectos como fatores a ponderar ou pontos de referência possam ser customizados. Para este fim, o SDQ trabalha com variáveis globais que armazenam parâmetros da configuração do ambiente durante a sua execução. Para que estes parâmetros não tenham que ser configurados a cada nova execução do SDQ, criamos uma tabela para o armazenamento permanente dos valores destes parâmetros. Esta tabela é denominada de AUX_CONFIG. As variáveis globais são carregadas com os dados da tabela cada vez que o SDQ é executado. A tabela 5.6(c) é um exemplo de uma AUX_CONFIG contendo parâmetros de configuração.

Conforme a tabela 5.6(c), apresentada na próxima seção, podemos verificar que o parâmetro um, por exemplo, que se refere ao ponto de referência, possui valor 1. Isto significa que o ponto de referência a ser considerado para os objetos estendidos será o ponto central. O parâmetro 2, que se refere ao tipo de buffer do ponto de referência, só será

considerado caso o primeiro parâmetro assuma o valor 3, isto é, o ponto de referência seja *buffer*.

5.3.4 Tabelas Auxiliares

A implementação do SDQ envolveu a criação de algumas tabelas auxiliares, as quais já citamos em algumas seções. Estas tabelas possuem importância capital para a implementação das funcionalidades para tratamento de distância, a medida que armazenam dados associados com a ponderação dos fatores abordados na seção 5.2.

As tabelas auxiliares utilizadas são as seguintes:

- Tabela auxiliar de relações (AUX_RELACAO) – Armazena dados referentes à relação de distância entre dois objetos, como por exemplo, distância quantitativa e fator de acessibilidade, como pode ser verificado na tabela 5.6(b);
- Tabela auxiliar de temas (AUX_TEMA) – Contém valores associados a atributos do tema, como escalas máxima e mínima. Para o tema praça, por exemplo, referente ao primeiro registro da tabela 5.6(a) a escala mínima é 5.000 e a máxima é 20.000;
- Tabela auxiliar de configurações (AUX_CONFIG) – Como abordado na seção 5.3.2, armazena parâmetros da configuração do SDQ. A tabela 5.6(c) é um exemplo de uma configuração destes parâmetros;

Tabela 5.6(a): Tabela auxiliar de temas

AUX_TEMA							
Nome	FiAtr1	FiTr1	EscalaMin	EscalaMax	FiRef	TipoBuffer	ExtBuffer
PRAÇA	8	0	5000	20000	3	1	100
HOSPITAL	7	0	5000	30000	0	0	0
MUNICIPIO	6	0	50000	80000	0	0	0
RUA	3	6	4000	10000	0	0	0
ESCOLA	8	0	5000	30000	0	0	0
RODOVIA - ASFALTO	6	8	60000	100000	0	0	0
RODOVIA - TERRA	5	5	60000	100000	0	0	0

Tabela 5.6(b): Tabela auxiliar de relações

AUX_RELACAO						
TemaObj1	IDObj1	TemaObj2	IDObj2	Relacao	DistAbs	FfAces
HOSPITAL	1	ESCOLA	4	DISTANCIA	2.366	1
HOSPITAL	5	ESCOLA	3	DISTANCIA	1.650	4
HOSPITAL	3	ESCOLA	8	DISTANCIA	3.891	2
ESCOLA	12	ESCOLA	9	DISTANCIA	1.560	8
ESCOLA	7	ESCOLA	5	DISTANCIA	12.562	8
ESCOLA	7	ESCOLA	4	DISTANCIA	9.614	4
HOSPITAL	1	HOSPITAL	2	DISTANCIA	5.569	7
HOSPITAL	6	ESCOLA	3	DISTANCIA	2.033	5
HOSPITAL	10	ESCOLA	6	DISTANCIA	6.231	3
CIDADE	26	CIDADE	5	DISTANCIA	48.832	6

Tabela 5.6(c): Tabela auxiliar de configurações

AUX_CONFIG		
Num	Descrição	Valor
1	PONTO DE REFERÊNCIA	1
2	TIPO BUFFER	1
3	EXTENSÃO BUFFER	0
4	ALCANÇABILIDADE	1
5	ATRATIVIDADE	1
6	ESCALA	1
7	QTD NIVEIS PROXIMIDADE	4

Como discutido na seção 5.1, cada tema possui uma tabela associada contendo os atributos e a geometria dos objetos deste tema. Estas tabelas são da classe *FTab*. Na seção 5.1.1, a tabela 5.1 é um exemplo de uma *FTab*. Além das tabelas *AUX_TEMA* e *AUX_RELACAO* que criamos para definir atributos dos temas e das relações, utilizamos as tabelas *FTab* para definirmos atributos referentes aos objetos. Para o tema *praça*, por exemplo, há uma tabela *FTab* de nome *praça*, que tem *FtAtrat* como atributo. *FtAtrat* determina a atratividade dos objetos do tema *praça*, enquanto o atributo *FtAtrat* da tabela *AUX_TEMA* determina a atratividade dos temas.

5.3.5 Diagramas de Estado

Para construção dos diagramas de estados, utilizamos o conjunto de símbolos ilustrados na figura 5.11, que segue o modelo de diagramas de estados descritos em [72]. Na intenção de definir diagramas de estado com um bom nível de refinamento, utilizamos o artifício de expandir um estado em outro diagrama. Os estados que são expandidos são representados por caixas tracejadas, conforme figura 5.11.

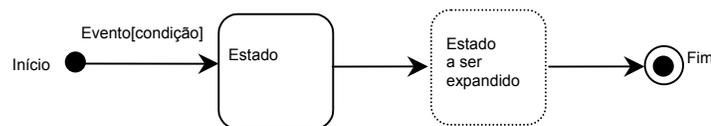


Figura 5.11: Modelo de diagrama de estado

Consultando Distância

Um dos primeiros passos que antecedem o cálculo de distâncias é a seleção dos objetos de referência. O diagrama de estado na figura 5.12 ilustra como se processa a seleção de objetos no SDQ. A seleção de objetos se faz necessária para todas as consultas referentes

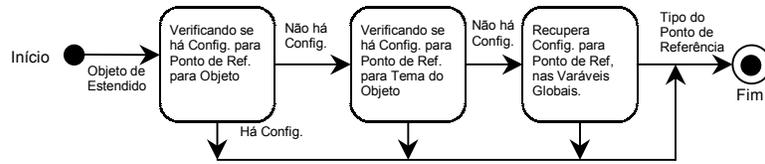


Figura 5.13(c): Diagrama de estado para recuperar ponto de referência

Observando a figura 5.14(b), podemos constatar que os procedimentos que antecedem os cálculos de distância são praticamente os mesmos para os cálculos quantitativo e qualitativo. No entanto, o diagrama de estado da figura 5.14(a), mostra que estes cálculos diferem entre si.



Figura 5.14(a): Diagrama de estado de detalhamento do cálculo da distância qualitativa

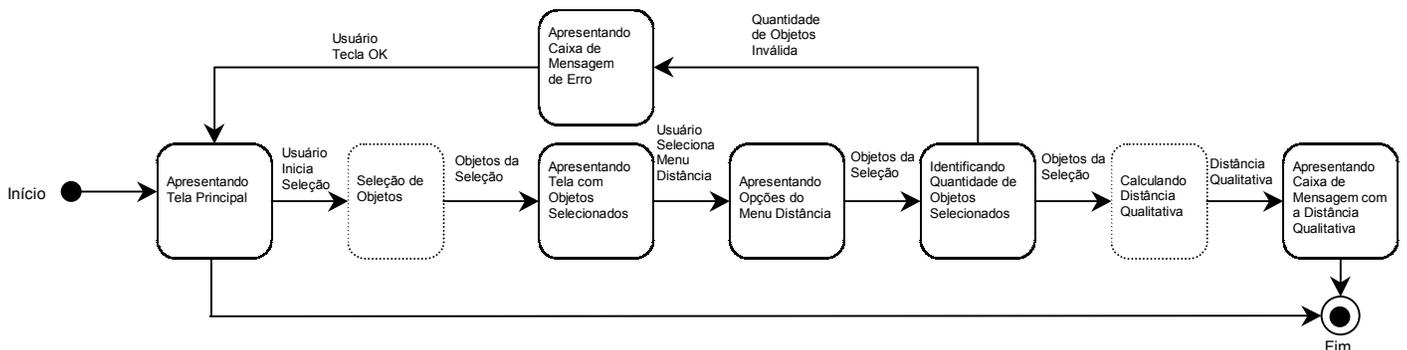


Figura 5.14(b): Diagrama de estado para cálculo da distância qualitativa

5.4 Funcionalidades do SDQ

Apresentamos, nesta seção, as principais funcionalidades do SDQ voltadas para o tratamento de distância sob o ponto de vista do raciocínio espacial qualitativo. Estas funcionalidades procuram atender aos objetivos deste trabalho. As funcionalidades são providas por operadores, que utilizando o modelo de dados apresentado anteriormente, têm como objetivo final ponderar vários fatores que interferem diretamente no conceito de distância para gerar uma distância qualitativa entre objetos geográficos.

As funcionalidades do SDQ podem ser divididas em três categorias: (1) Processamento de consultas, que provêm relações de distância entre objetos; (2) Manipulação de tabelas auxiliares contendo relações; (3) Interface gráfica que disponibiliza ao usuário, meios pelos quais as funcionalidades são acessadas.

Dentre as funcionalidades que processam consultas, temos:

- Cálculo de distância quantitativa – Recebe dois objetos como parâmetros, selecionados através de interface gráfica, e retorna a distância quantitativa, em uma grandeza escalar, entre estes objetos.
- Cálculo de distância qualitativa – Recebe dois objetos como parâmetros, selecionados através de interface gráfica, pondera vários fatores, e retorna a distância qualitativa.
- Consulta por proximidade - Um objeto e um conjunto de objetos de um dado tema são fornecidos como parâmetros. Serão retornados os objetos do conjunto que possuem uma relação de distância pré-estabelecida.

Além destas funcionalidades, que são as principais do SDQ, algumas outras estão disponíveis. Dentre elas destacamos:

- Visualização das tabelas auxiliares – Permite visualizar os registros das tabelas auxiliares que armazenam dados essenciais para o provimento de relações de distâncias qualitativas. Na seção 5.3.3, apresentamos em detalhes a finalidade destas tabelas.
- Geração da tabela de relações – Faz com que várias distâncias entre objetos possam ser geradas para que seja possível o cálculo de distância, considerando aspectos contextuais, como a posição de outros objetos do quadro de referência.
- Configuração do sistema – Tem como objetivo permitir que parâmetros a serem utilizados no cálculo de distância sejam alterados conforme a necessidade do usuário. Mais adiante veremos como estas configurações afetam diretamente as funcionalidades do sistema a medida que alteram valores de variáveis globais utilizadas no cálculo de distância.

As Figuras 5.15(a), 5.15(b) e 5.15(c) apresentam a disposição destas funcionalidades na interface do SDQ através da sua barra de menu. As seções posteriores procuram descrever com detalhes cada uma delas, descrevendo as janelas utilizadas na interação com o usuário final.

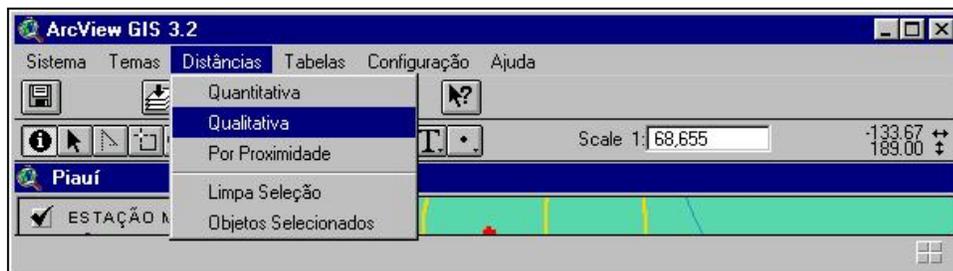


Figura 5.15 (a): Funcionalidades de distância

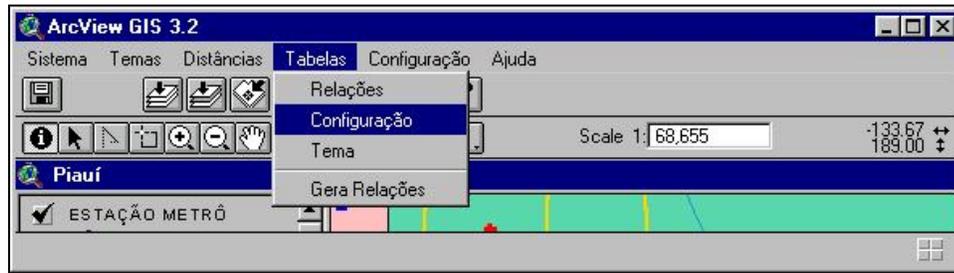


Figura 5.15 (b): Visualização das tabelas de relações e configuração



Figura 5.15 (c): Visualização das opções de configuração

5.4.1 Cálculo de Distâncias

Esta seção apresenta aspectos operacionais da utilização dos operadores de distância no SDQ. Basicamente, como mostrado na figura 5.15 (a), o usuário tem três opções para obter informação de distância entre objetos. Estas opções são capazes de prover desde distâncias quantitativas, cujo processamento é relativamente simples, até relações de distância qualitativas, que envolve uma série de particularidades na sua obtenção, como veremos logo a seguir.

Distância Quantitativa

Apesar dos vários fatores que diretamente interferem no raciocínio sobre distância, a distância quantitativa ainda é um fator preponderante para a obtenção de uma distância qualitativa entre objetos geográficos. Alguns autores até mesmo a consideram como o principal fator [19, 44].

Utilizando métodos disponíveis no ArcView, implementamos funcionalidades para que o usuário possa facilmente obter distâncias quantitativas entre objetos geográficos. O usuário seleciona os dois objetos que deseja obter a distância quantitativa e em seguida seleciona a opção disponível na barra de menu, conforme ilustra a figura 5.15(a). Finalmente, uma caixa de diálogo contendo a distância calculada é apresentada.

Distância Qualitativa

Obter relações de distância qualitativa entre objetos envolve uma série de fatores a serem ponderados, como atratividade, acessibilidade, escala e posição de outros objetos. Todos estes fatores, abordados com detalhes no capítulo 4, são considerados na obtenção da relação de distância.

Apesar da complexidade que envolve a consulta para obtenção da distância qualitativa, os passos para realizá-la são relativamente simples. A solicitação desta consulta no SDQ é praticamente idêntica à solicitação da consulta quantitativa. A diferença está no resultado apresentado. Na consulta quantitativa, o resultado é um valor em alguma unidade escalar. Já na consulta qualitativa, o resultado é um valor lingüístico que busca representar a relação de distância entre os objetos selecionados. As figuras 5.16(a) e 5.16(b) ilustram as caixas de diálogo apresentadas com o resultado das consultas quantitativa e qualitativa, respectivamente.

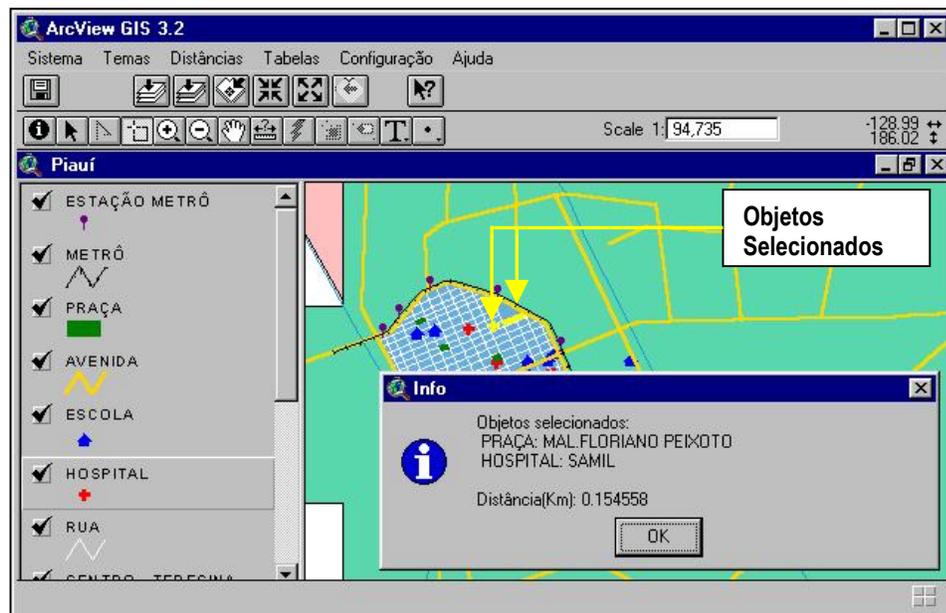


Figura 5.16 (a): Caixa de mensagem com resultado de consulta quantitativa

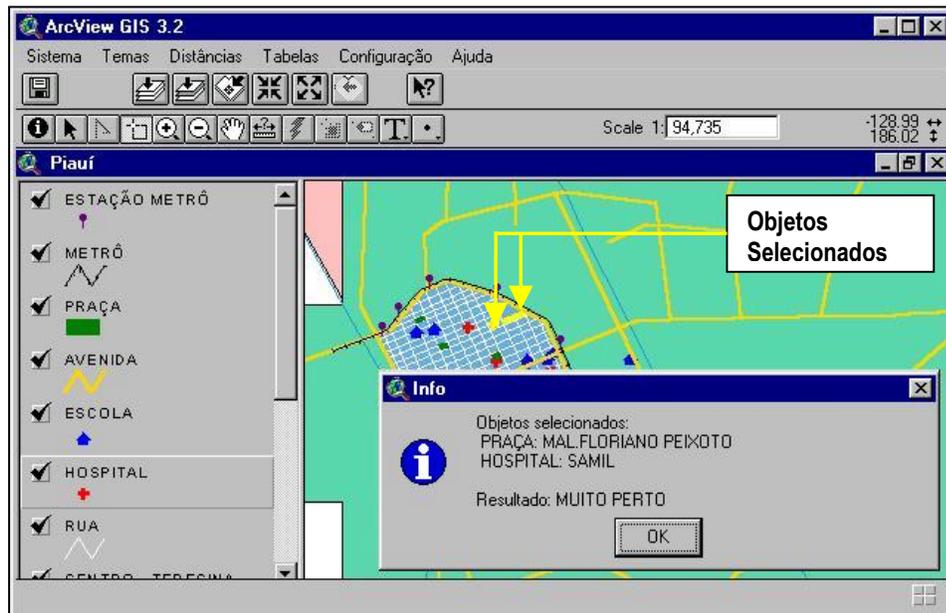


Figura 5.16 (b): Caixa de mensagem com resultado de consulta qualitativa

Consulta por Proximidade

Esta modalidade de consulta difere das outras duas apresentadas anteriormente pelos elementos selecionados que servem de parâmetro. Nesta consulta, um objeto e um tema são selecionados, ao invés de dois objetos. Após a seleção do objeto e do tema, o usuário informa a relação de proximidade desejada para que sejam apresentados todos os objetos do tema selecionado que atendem a esta relação.

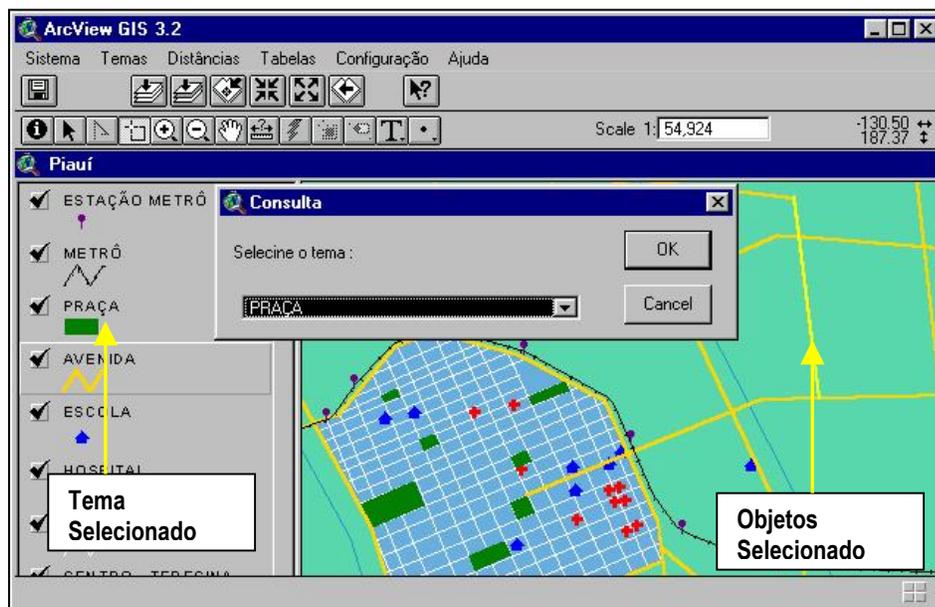


Figura 5.17(a): Seleção do tema

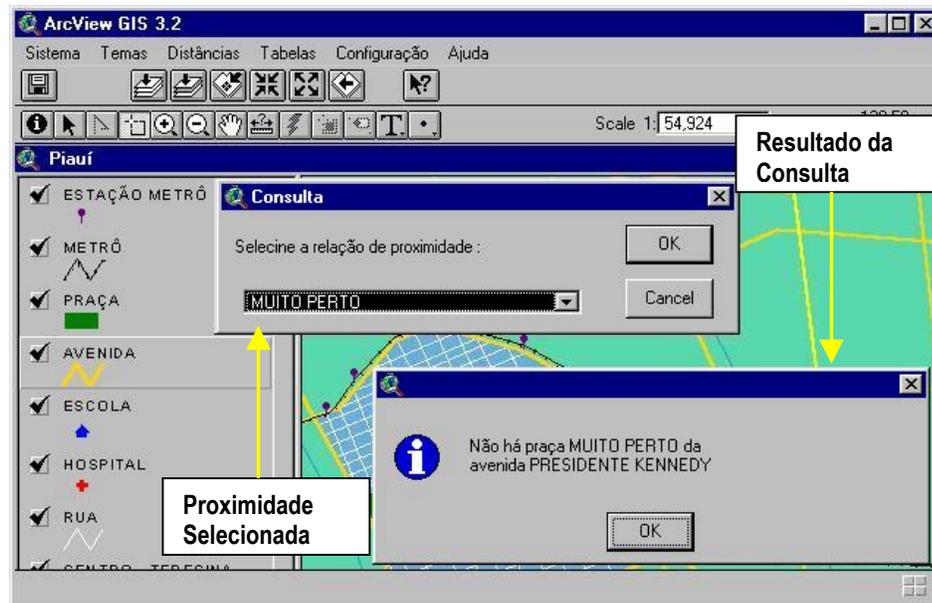


Figura 5.17(b): Resultado da consulta

A figura 5.17(a) exibe uma janela onde o usuário selecionou uma avenida para saber se há alguma praça “muito perto” desta avenida. Na figura 5.17(b) é mostrada a caixa de seleção da relação de proximidade desejada, juntamente com o resultado da consulta. Como pode ser verificado, o resultado foi de que não há nenhuma praça muito perto da avenida selecionada.

O processamento da consulta *por proximidade* pelo SDQ é praticamente idêntico ao da consulta *qualitativa*. A diferença entre elas está basicamente no tipo de resultado fornecido. Esta consulta é útil quando o usuário pretende saber respostas, por exemplo, para consultas do tipo: “Há algum hospital perto da escola A?”, ou então “Quais são as cidades próximas do rio Parnaíba?”.

5.4.2 Visualizando e Mantendo Tabelas

O SDQ utiliza tabelas relacionais auxiliares para prover as relações de distância. Estas tabelas foram apresentadas na seção 5.3.3. Além das funcionalidades para manutenção das tabelas auxiliares, o SDQ provê meios de acesso às tabelas associadas aos temas. Estas tabelas que são instâncias de *FTab*, além dos atributos relacionados às propriedades dos objetos, possuem também atributos associados ao cálculo de relações qualitativas.

Como ilustra a figura 5.15(b), o menu “Tabelas” disponibiliza as opções para visualização e manutenção das tabelas disponíveis no SDQ. A opção “Gera Relações” processa a geração da tabela de relações. A figura 5.18 mostra as tabelas de relações e configurações visualizadas através da seleção das opções correspondentes.

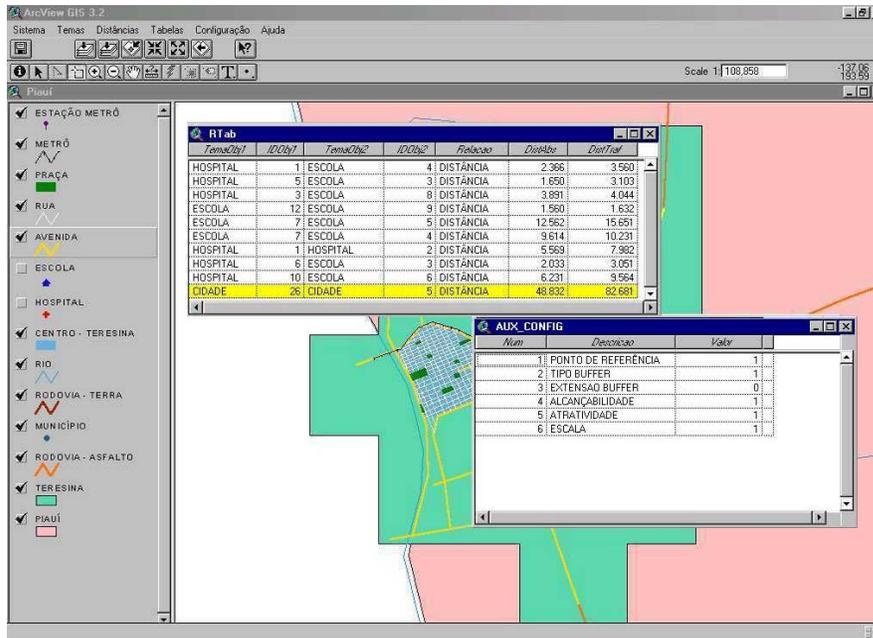


Figura 5.18: Tabelas auxiliares

5.4.3 Mantendo Atratividade e Trafegabilidade

Como discutido anteriormente, objetos e temas possuem atributos que definem quão atrativos e trafegáveis eles são. Estes atributos, que são *FtAtrat* e *FtTraf*, para os temas, estão na tabela *AUX_TEMA*, para os objetos, estão na tabela associada ao objeto. Estes atributos são mantidos pelo usuário através das opções *Atratividade* e *Trafegabilidade* da barra de menus, como apresentado na figura 5.15(c). Se o usuário, por exemplo, selecionar um objeto e escolher a opção *Atratividade*, uma janela será apresentada para que ele informe o grau de atratividade daquele objeto. A figura 5.19 ilustra esta situação.

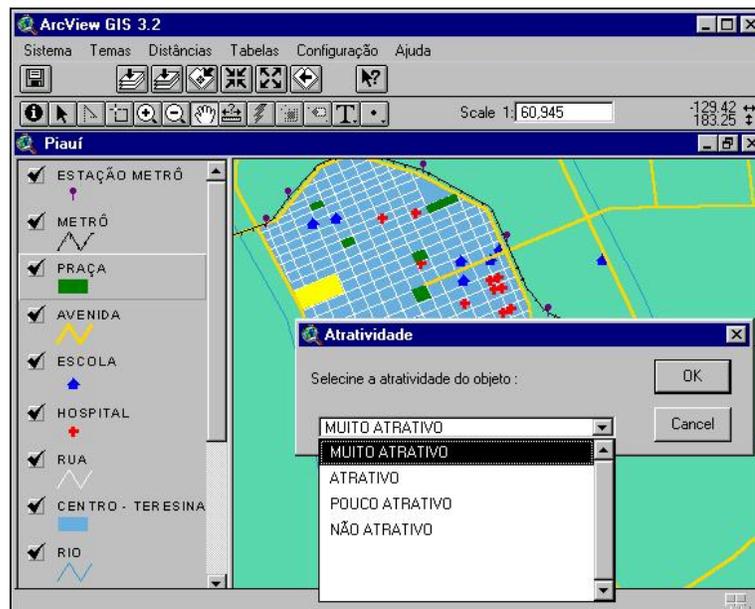


Figura 5.19: Definindo a trafegabilidade de um objeto

Após a definição pelo usuário do grau de atratividade ou trafegabilidade do objeto ou tema, a variável lingüística escolhida será convertida para um valor inteiro correspondente (i.e. 0, 1, 2 ou 3) para armazenamento na tabela. A opção *muito atrativo*, por exemplo, está associada ao valor 3, a opção *atrativo*, ao valor 2, e assim por diante. As variáveis lingüísticas associadas a um objeto ou tema são: *muito atrativo*, *atrativo*, *pouco atrativo* e *não atrativo*. Para o fator de trafegabilidade estas variáveis são: *muito trafegável*, *trafegável*, *pouco trafegável* e *intrafegável*.

5.4.4 Configurando o Sistema

As opções de configuração, disponíveis no SDQ, possibilitam ao usuário configurar parâmetros relacionados com aspectos funcionais do cálculo de distância. Estes aspectos são: (1) os fatores a serem ponderados no cálculo de distância qualitativa; (2) pontos de referência para cálculo de distância entre objetos estendidos.

A figura 5.20 mostra as janelas para configuração dos parâmetros do sistema.

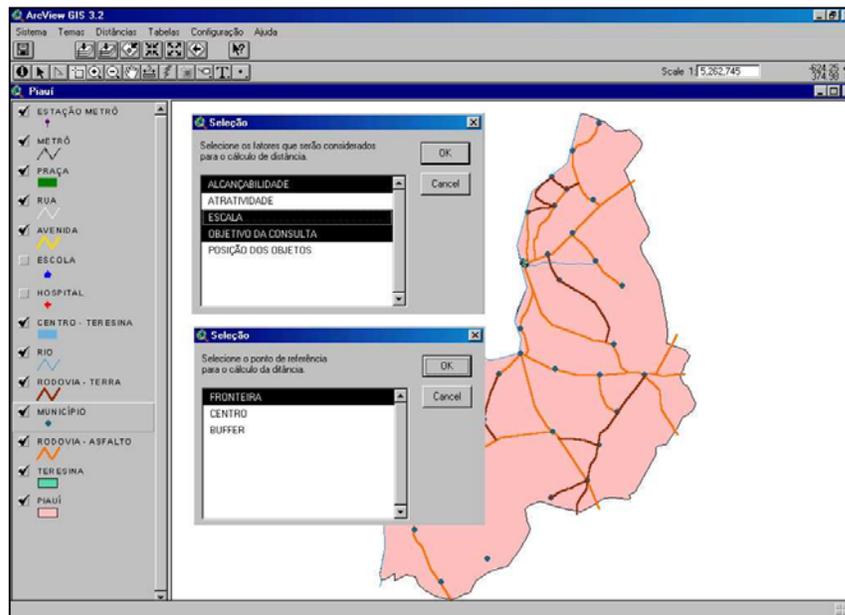


Figura 5.20: Configurando o sistema

Para configuração destes parâmetros, janelas semelhantes às apresentadas para o cálculo de distância são disponíveis. Vale dizer, que caso o usuário opte por configurar estes parâmetros, ele não terá a opção de informar os fatores e os pontos de referência a serem considerados quando solicitar uma consulta, pois o sistema irá considerar a configuração global. Dessa forma, caso o usuário deseje que estes parâmetros sejam informados a cada consulta, eles não devem ser configurados na opção de configuração disponível na barra de menu mostrado na figura 5.15(c).

5.5 Conclusão

Neste capítulo, tivemos como meta a exposição de como um SIG pode ser incrementado com funcionalidades capazes de prover relações de distância sob a ótica do raciocínio espacial qualitativo. Para isto, foram apresentados detalhes de como fatores que influenciam o conceito de distância podem ser incorporados a um SIG.

O protótipo do sistema SDQ mostrou como os operadores para provimento de distância qualitativa podem ser disponibilizados, em uma interface amigável, para que possam ser utilizados facilmente pelo usuário final.

Apesar das diversas funcionalidades apresentadas no SDQ, muitas outras ainda podem ser implementadas, como sugerimos no capítulo seguinte. No entanto, as várias alternativas para lidar com distância de forma qualitativa vão muito além das funcionalidades disponíveis nos SIG que analisamos.

Capítulo 6

Conclusão

Neste capítulo, fazemos uma breve recapitulação dos nossos objetivos e de como eles foram alcançados, para que possamos mensurar as reais contribuições geradas por este trabalho. Apresentamos também sugestões de trabalhos futuros que poderão ser realizados para dar continuidade aos nossos objetivos, no sentido de aprimorar as funcionalidades do protótipo SDQ, como também, de abordar outros aspectos que envolvem relações espaciais entre objetos geográficos.

6.1 Revisão dos Objetivos do Trabalho

Nosso objetivo inicial era mostrar como relações de distâncias poderiam ser obtidas sob o ponto de vista do raciocínio espacial qualitativo. Certos da complexidade e das muitas particularidades que envolvem este objetivo, buscamos analisar com detalhes os principais aspectos associados a relações de distância entre objetos geográficos. Inicialmente, discutimos a importância do raciocínio espacial humano na representação de relações espaciais em SIG, onde modelos espaciais qualitativos foram estudados. Em seguida, evidenciamos fatores que interferem no conceito de distância e como podem determinar a distância qualitativa entre objetos. E finalmente, através do protótipo SDQ, mostramos como um SIG pode incorporar estes fatores para gerar relações de distância que possivelmente estejam mais próximas da maneira como nós humanos raciocinamos sobre espaço.

As funcionalidades disponibilizadas no SDQ, implementadas através de operadores de distância, é o resultado concreto dos nossos objetivos iniciais. Utilizando o SDQ, percebemos claras diferenças entre distâncias quantitativas e distâncias qualitativas providas para os mesmos objetos de referência. A ponderação de cada fator que interfere na distância qualitativa pode ser claramente observada, como também, ser tratada de forma seletiva. Implementações para tratar fatores que demandam mecanismos não triviais, como

é o caso da *acessibilidade e posição dos objetos*, foram implementados com êxito. Para o fator *posição dos objetos*, utilizamos conceitos da lógica *fuzzy* para representar a imprecisão inerente à distância qualitativa. Além disso, detalhes de como procedemos estas implementações foram apresentados. Enfim, nosso objetivo, centrado nos operadores de distância para objetos geográficos estendidos, foi alcançado à medida que conseguimos identificar e justificar como vários fatores afetam o conceito de distância e mostramos como estes fatores podem ser incorporados em um SIG.

6.2 Principais Contribuições

De forma abrangente, a principal contribuição deste trabalho foi propor como funcionalidades podem ser construídas para prover informações que estejam no domínio do raciocínio espacial qualitativo e em uma possível conformidade com a capacidade humana de perceber e raciocinar sobre distâncias dentro do espaço geográfico. No entanto, outras contribuições são identificadas através de um maior detalhamento. Dentre elas, citamos:

Análise de fatores que interferem na concepção de distância para objetos geográficos

Identificamos razões pelas quais distância é uma questão importante no mundo atual. Mostramos que a sua definição não está associada simplesmente a valores quantitativos em alguma unidade de medida. Contribuímos, dessa forma, para consolidar a idéia de que distância é mais do que uma extensão ou magnitude escalar. Além disso, ao relacionar fatores como escala, acessibilidade, atratividade, entre outros, que afetam a concepção de distância, expusemos, em um bom nível de detalhamento, como e porque isto ocorre.

Mecanismos para considerar objetos estendidos no cálculo de distância

Quando nos propomos, neste trabalho, a calcular distância para objetos geográficos estendidos (i.e. objetos com mais de uma dimensão), fizemos com que a geometria dos objetos fosse um aspecto a ser considerado. Para isto, definimos alternativas para pontos da região do objeto estendido que podem ser considerados como referência no cálculo de distância. Relações de distâncias para objetos estendidos, recebe pouca atenção da literatura referente a SIG e ao raciocínio espacial qualitativo [15, 23, 32, 83]. Este fato nos motivou a considerarmos este importante aspecto.

Apresentação de um modelo de dados para tratamento de relações espaciais

O modelo de dados definido para o SDQ tem papel fundamental nas funcionalidades para o tratamento de distância. Este modelo é composto pelas definições das tabelas auxiliares criadas para suportar atributos de temas, objetos e relações espaciais, como também para

armazenar parâmetros de configuração do sistema. Vale destacar que, apesar do grande enfoque do SDQ ser relações de distância, seu modelo de dados foi definido para suportar outras relações. A tabela que matém informações sobre relações de distância, pode facilmente ser usada para outras relações espaciais, assim como, as tabelas de objetos e temas. Este importante aspecto do modelo de dados do SDQ facilita a implementação de mecanismos de inferência, tendo em vista que a inferência de novas relações envolve comumente múltiplos tipos de relações espaciais.

Um protótipo com várias funcionalidades para tratamento de distância

Analisando aspectos da implementação do SDQ, importantes detalhes do tratamento de distância podem ser obtidos, como exemplos podemos citar: a utilização da lógica *fuzzy*, utilização de níveis de proximidade flexíveis, cálculo do fator de acessibilidade entre objetos e alternativas de pontos de referência para objetos estendidos. Embora todos estes aspectos tenham sido implementados para um único fim (i.e. tratamento de distância), eles podem ser úteis na implementação de outras funcionalidades SIG. Lógica *fuzzy*, por exemplo, atende a várias demandas em SIG, assim como o cálculo do fator de acessibilidade pode ser útil para questões que envolvem escolha do melhor caminho. Além da contribuição gerada pela análise de projeto do protótipo, o SDQ pode ter aplicabilidade concreta na resolução de questões que envolvem distâncias.

6.3 Trabalhos Futuros

Apesar de considerar que este trabalho representa um avanço no tratamento de distâncias em SIG, muitos outros trabalhos podem ser desenvolvidos no sentido de ampliar nossos objetivos.

Muitas das novas atividades que podem surgir estão relacionadas com a otimização do tratamento de distância pelo SDQ, que pode ter suas funcionalidades refinadas para que aspectos adicionais que envolvam distância possam ser considerados. Dentre estas atividades, destacamos:

- Uma indicação de trabalho futuro consiste na otimização do cálculo do fator de acessibilidade considerando direção e zonas de *buffer* diferenciadas. Como explicado no capítulo 5.2.2, utilizamos zonas de *buffer* para calcular o fator de acessibilidade entre dois objetos. É com base nesta zona de *buffer* que identificamos quais os objetos trafegáveis que serão ponderados no cálculo deste fator. Ocorre que, alguns objetos trafegáveis, mesmo provendo acessibilidade entre os objetos de referência, podem não ser considerados por estarem fora da zona de *buffer*. Este problema seria resolvido se ao invés de utilizarmos uma única zona de *buffer* utilizássemos várias zonas de *buffer* (mecanismo discutido da seção 4.3.1). Isto ampliaria a extensão da zona de *buffer* e cada objeto trafegável seria ponderado de acordo com sua localização em uma das

- zonas de *buffer*. Dessa forma, o processo de cálculo do fator de acessibilidade seria sensivelmente melhorado por prover resultados possivelmente mais expressivos.
- Uma outra idéia seria criar procedimentos para geração automática do fator atratividade. Esta melhoria no SDQ já foi sugerida na seção 5.2.5. Ela consiste na implementação de procedimentos que associem o fator da atratividade a atributos descritivos dos objetos ou tema. Tentar automatizar a geração do fator de atratividade não é algo fácil, pois envolve aspectos subjetivos. O que é atrativo, ou não, na maioria das vezes depende do ponto de vista do usuário e esta informação não pode ser obtida diretamente do quadro de referência. Em [45], fatores deste tipo, segundo Hernández, pertencem a um quadro de referência chamado de circunstancial. Uma interessante possibilidade para lidar com esta questão seria fazer com que o usuário definisse, para determinado objeto, a ordem da atratividade representada pelos seus atributos. Um hospital, por exemplo, poderia ter sua atratividade determinada através do número de leitos, número de médicos e preço da diária, sempre obedecendo esta ordem. Em uma outra consulta, esta ordem poderia ser alterada, dependendo do interesse do usuário. Embora reconhecendo a complexidade da implementação deste mecanismo, fazer com que a atratividade seja determinada por atributos dos objetos, ou tema, eliminaria a necessidade do usuário de definir explicitamente o grau de atratividade.
 - Outra sugestão consiste em implementar mecanismos de inferência no SDQ. Mecanismos de inferência possuem um importante papel no provimento de informações qualitativas, a medida que, a partir de relações entre objetos geográficos se pode obter outras relações sem a necessidade de armazenar dados que definam explicitamente estas relações. A implementação de procedimentos que pudessem inferir novas informações ampliaria consideravelmente as funcionalidades do SDQ. Ressaltamos que o armazenamento de relações entre objetos no SDQ consiste em um importante passo para que isto seja possível.
 - Implementação de *triggers* como garantia da consistência das bases de dados seria também interessante. O SDQ armazena relações entre objetos em uma tabela relacional. A cada alteração no quadro de referência, esta tabela deve ser novamente gerada para refletir estas alterações. Atualmente, o processo de geração desta tabela é automático, porém a sua execução depende da solicitação do usuário. Como pode ser notado, há o risco de, caso a tabela esteja desatualizada, prover informações inconsistentes. Para resolver este problema, sugerimos a implementação de procedimentos que eliminem a interferência direta do usuário na manutenção da tabela de relações. Procedimentos deste tipo em alguns SGBD são conhecidos como *triggers*. *Triggers* são procedimentos cuja execução depende de algum evento. Embora o ArcView não suporte *triggers*, é possível que funcionalidades possam ser implementadas com a mesma finalidade.
 - Estender o SDQ para, além de distância, tratar outras relações, aumentaria a possibilidade da utilização de mecanismos de inferência. Esta é uma possibilidade que merece ser analisada. Novas relações de distância podem ser inferidas não apenas com base em outras relações de distância, mas através, por exemplo, de relações

topológicas. Para que este tipo de inferência seja possível no SDQ, é necessário que outras relações sejam consideradas.

- Fazer com que o SDQ considere aspectos temporais incrementaria consideravelmente as suas funcionalidades. Como apresentado na seção 4.2.7, a natureza temporal do dado geográfico evidencia a importância de considerar a dimensão tempo no provimento de distâncias qualitativas.

Outro importante trabalho que sugerido, que não está associado diretamente à otimização do SDQ, é a realização de um experimento para avaliar todas as funcionalidades propostas. Este experimento seria realizado com seres humanos que tivessem o mesmo *background*, mesmo nível de conhecimento sobre o protótipo e possivelmente sobre o quadro de referência a ser utilizado. A avaliação das funcionalidades do SDQ seria obtida com base no grau de satisfação destas pessoas com as respostas providas pelas funcionalidades do protótipo.

Referências

- [1] Allen, J. F. *Maintaining Knowledge about Temporal Interval*. *Communications of the ACM*, No.26, pp. 832-843, 1983.
- [2] Altman D., *Fuzzy Set Theoretic Approach for Handling Imprecision in Spatial Analysis*, *International Journal Geographic Information Science*, Vol.8, No.3, pp. 271-289, 1994.
- [3] ARC/INFO, <http://www.esri.com/software/arcgis/arcinfo>, 2003.
- [4] ArcView Help, ESRI, vs 4.10, 1998.
- [5] Bennet, B., Cohn, A. G., Isli, A. *A Logical Approach to Incorporating Qualitative Spatial Reasoning into GIS*. *Proceedings of European Conference on Spatial Information Theory (COSIT-97)*, pp. 503-504, 1997.
- [6] Bittner, T., Stell, J. G. *Rough Sets in Approximate Spatial Reasoning*, In *Proceedings of the Second International Conference on Rough Sets and Current Trends in Computing (RSCTC'2000)*, *Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*, 2000.
- [7] Bittner, T., Stell, J. G. *Rough Location of Vague Objects*. *geoinformatica*, 2001.
- [8] Câmara, G., Casanova M., Hemerly A., Magalhães G., Medeiros C. *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*, 1996.
- [9] Câmara, G., *Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos*. Tese de PhD, INPE, dezembro 1995.
- [10] Chamberlain, B. <http://www.census.gov/cgi-bin/geo/gisfaq?Q5.1>. *What is the best way to calculate the distance between 2 points?*, 2001.
- [11] Cheng, T., Molenaar, M., Lin, H. *Formalizing Fuzzy Objects from Uncertain Classification Results*, *International Journal of GIS*, No 15, pp. 27-42, 2001.
- [12] Chrisman, N. *Exploring Geographic Information Systems*, John Wiley and Sons Inc., 1997.

- [13] Clementini, E., Di Felice, P. *A Comparison of Methods for Representing Topological Relationships*. Information Sciences, No.3, pp. 149-178, 1995.
- [14] Clementini, E., D'Atri, A., Felice, P. *Browsing in Geographic Database: An Object-Oriented Approach*. Workshop on Visual Languages, pp. 125-131, Skokie, Illinois, 1990.
- [15] Cohn, A. G., Hazarika, S.M. *Qualitative Spatial Representation and Reasoning: An Overview*, IOS Press, Fundamenta Informaticae No.43, pp. 2-32, 2001.
- [16] Cohn, A. G. *Qualitative Spatial Representation and Reasoning Techniques*, G. Brewka, C. Habel and B. Nebel (eds.), KI-97: Advance in Artificial Intelligence, Lecture Notes in Computer Science, No. 1303, pp. 1-30, 1997.
- [17] Cohn, A. G. *Qualitative Spatial Representations*, Proc IJCAI –99 Workshop of Adaptive Spatial Representations of Dynamic Environment, pp. 33-52, 1999.
- [18] Dueker, K.J., Kjerne, D. *Multipurpose Cadastre: Terms and Definitions*. Falls Church, pp. 7-8, 1989.
- [19] Dutta S., *Qualitative Spatial Reasoning: a Semi-qualitative Approach Using Fuzzy Logic*, Ed. F. Wang, Proceedings of the 1st International Symposium on Advances in Spatial Databases, pp. 345-364, Santa Barbara, California, 1989.
- [20] Elmasri, Navathe. *Fundamentals of Database Systems*, Terceira edição, Addison Wesley Longman, Inc., 2000.
- [21] Egenhofer, M. J. *Why not SQL*, International Journal Geographic Information Science, Vol.6, No.2, 71-85, 1992.
- [22] Egenhofer, M. J. *Reasoning about Binary Topological Relations*, Proceeding of the 2nd International Symposium on Advances in Spatial Databases, O. Günter and H.J.Scheck (Eds.), pp. 143-160. 1991.
- [23] Egenhofer, M. J., Sharma, J., Flewelling, D. M. *A Qualitative Spatial Reasoner*. Proceedings of the 6th International Symposium on Spatial Data Handling, T. Waugh and R. Healy (Eds.), 1994.
- [24] Egenhofer, M. J. *Spatial SQL: A Query and Presentation Language*. IEEE Transactions and Data Engineering, Vol. 6, No.1, pp. 86-95, 1994.
- [25] Egenhofer, M. J., Mark, D. *Calibrating the Meanings of Spatial Predicates from BA\Natural Language: Line-Region Relations*. Proceedings of the 6th International Symposium on Spatial Data Handling, pp. 538-553, 1994.
- [26] Egenhofer, M. J. *Naive Geography. A theoretical basis for GIS*, A Theoretical Basis for GIS, Proceedings of COSIT'95, Lecture Notes in Computer Science, No. 988, Springer-Verlag, pp. 1-6, 1995.

- [27] Egenhofer, M. J. *Deriving the Composition of Binary Topological Relations*, Journal of Visual Languages and Computing, No. 5, pp. 133-149, 1994.
- [28] Egenhofer, M. J., Al-Taha, K. *Reasoning about Gradual Changes of Topological Relationships*, Proceedings of the Spatial Conference - GIS, pp. 196-219, 1992.
- [29] ESRI. *Avenue – Customization and Application Development for ArcView GIS*, Environmental Systems Research Institute, Inc., 1996.
- [30] ESRI. <http://www.esri.com>, Environmental Systems Research Institute, 2003.
- [31] Ferreira, A. B. *Novo Dicionário da Aurélio*, Ed. Nova Fronteira, 2ª Edição, 1986.
- [32] Frank, A.U. *Qualitative Spatial Reasoning about Distances and Directions in Geographic Space*. Journal of Visual Languages and Computing, Vol 3, pp. 343-371, 1992.
- [33] Frank, A. U. *Qualitative Spatial Reasoning with Cardinal Directions*, Proceedings of Auto Carto 10, D. Mark and D. White (Eds.), pp. 148-166, 1991.
- [34] Frank, A. U. *Geographic Information Systems – Materials for Post-graduate Course*, Vol.1: Spatial Information, pp. 1-89, 1995.
- [35] Freska, C. *Using Orientation Information for Qualitative Spatial Reasoning*. Proceedings of the International Conference GIS, pp. 162-178, 1992.
- [36] Fuzzy Logic. http://webopedia.internet.com/TERM/f/fuzzy_logic.html, Fuzzy Logic – Webopedia.com, Jupitermedia Corporation, 2003.
- [37] Gahegan, M., *Proximity Operators for Qualitative Spatial Reasoning*, A Theoretical Basis for GIS, Proceedings of COSIT'95, Lecture Notes in Computer Science, No. 988, SpringerVerlag, pp. 31- 43, 1995.
- [38] Gahegan, M.N., Roberts, S.A. *An Object-Oriented Geographic Information System Shell*. Information and Software Technology, 35(10), 1993.
- [39] Gahegan, M.N., Roberts, S.A., Hogg, J. Hoyle, B. *Application of Object-Oriented Databases to Geographic Information Systems*. Information and Software Technology, Vol. 33, No 1, pp. 38-46 1991.
- [40] Gardarin, G. *Integrating Classes and Relations to model and Query Geographical Databases*. Database and Expert Systems Applications. Proceedings of 4th International Conference, pp. 365-372, 1993.
- [41] Gardels. K. *A Comprehensive Data Model for Distributed, Heterogeneous Geographic Information*, 2000
- [42] GIS. <http://www.usgs.gov/research/gis/title.html>, Geographic Information Systems, USGS – U.S. Geological Survey, 2001.

- [43] Guesgen, H. W. *Spatial Reasoning Based on Allen's Temporal Logic*. Technical Report R-89-049, 1989.
- [44] Guesgen, H. W. *Qualitative Spatial Reasoning With Fuzzy Distance Operator*. Proceedings of the *SDH-98*, Vancouver, Canada, 1998.
- [45] Hernández, D., Clementini, E., Di Felice, P. *Qualitative Distances*. Lecture Notes in Computer Science, No.988, pp. 45-57, 1995.
- [46] Hernández, D. *Qualitative Representations of Spatial Knowledge*. Lecture Notes in Artificial Intelligence, No 804, Springer-Verlag, 1994.
- [47] Houaiss, A. Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa. Ed. Objetiva, 1ª Edição, 2001.
- [48] Java, www.java.sun.com, 2003.
- [49] Kosko, B., Isaka, S. *Fuzzy Logic*. Scientific American, Inc. No 269, pp 62-6, 1993.
- [50] Lagran, G. *Producing Answers to Spatial Questions*. Technical Papers, Vol. 6, pp. 133-147, 1991.
- [51] Lee, Y.C., Chin, F.L. *An Iconic Query Language for Topological Relationship I GIS*. International Journal Geographic Information Science, Vol.9, No.1, pp. 25-46, 1995.
- [52] Lee, S.Y., Hsu, F. J. *2D C-String: A New Spatial Knowledge Representation for Image Database Systems*, Pattern Recognition, No 23, pp. 1077-1087, 1990.
- [53] Maguire D., Goodchild M., Rhind D., *Geographical Information Systems - volume I*. John Wiley and Sons, 2ª Edição, 1993.
- [54] Maguire, D., Goodchild M., Rhind D., *Geographical Information Systems - volume II*. John Wiley and Sons, 2ª Edição, 1993.
- [55] Mark. D. M., Egenhofer, M. J. *An Evaluation of the 9-intersection for region line Relations*. Proceeding of the GIS/LIS'92, pp. 513-521, 1992.
- [56] MGE, <http://www.intergraph.com/gis/mge>, 2003.
- [57] Montello, D. *The Perception and Cognition of environmental Distance: Direct Sources of Information*. In Spatial information theory: A theoretical basis for GIS, Lecture Notes in Computer Science, No 1329, pp. 297-311, 1997.
- [58] Moratz, R., Renz J., Wolter D. *Qualitative Spatial Reasoning about Line Segments*, Proc. ECAI-00, 2000.
- [59] Oman, C. *GIS and Channel Tunnel Rail Link*, Proceedings of Institute of Civil Engineers, Geographic Information Systems, pp. 19-22, 1996.

- [60] OpenGIS Consortium. <http://www.opengis.org/techno/guide/guide980615/toc.htm>. OpenGIS Guide, 2001.
- [61] OpenGIS Consortium. The OpenGIS Abstract Specification. Version 4. OpenGIS Project Document Number 99-100r1. 1999.
- [62] OpenGIS Consortium. OpenGIS Simple Features Specification for SQL. Revision 1.1. OpenGIS Project Document Number 99-049. 1999.
- [63] Papadias, D., Theodoridis, Y. *Spatial Relations, Minimum Bounding Rectangles, and Spatial Data Structures*. International Journal Geographic Information Science, Vol.11, No.2, pp. 111-138, 1997.
- [64] Papadias, D., Karacapilidis, N., Arkoumanis, D. *Processing Fuzzy Spatial Queries: a Configuration Similarity Approach*. International Journal of Geographic Information Science, Vol.13, No.2, pp. 93-118, 1999.
- [65] Peuquet, D. J. *Towards the Definition and Use of Complex Spatial Relationships*. Proceedings of the 3rd International Symposium on Spatial Data Handling, pp. 211-223, 1988.
- [66] Randell, D. A., Cohn, A. G., Cui, Z. *A Spatial Logic Based on Regions and Connection*, Nebel, B., Swartout, W., and Rich, C. (Eds.), Proceedings of the 3rd International Conference on Artificial Intelligence, pp. 165-176, 1992.
- [67] Renz, J., Nebel, B. *Efficient Methods for Qualitative Spatial Reasoning*, Journal of Artificial Intelligence Research, No. 15, pp. 289-318, 2001.
- [68] Roberts, F., Suppes, P. *Some Problems in Geometry of Visual Perception*. Synthese, No, 17, pp.173-201, 1967.
- [69] Robinson, V. B. *A Perspective on Geographic Information Systems and Fuzzy Sets*, Proceedings of North American Fuzzy Information Processing Society Proceedings, pp.1-6, 2002.
- [70] Robinson, V. B., Graniero, P. A. *Investigating the Role Fuzzy Sets in a Spatial Modeling Framework*, Proceedings NAFIPS, pp. 2370-2375, 2001.
- [71] Rodríguez, M. A., Egenhofer, M. J. *A Comparison of Inferences about Containers and Surfaces in Small-Scale and Large-Scale Spaces*, Journal of Visual Languages and Computing, No 11, pp. 639-662, 2000.
- [72] Rumbaugh, J. *Object-Oriented Modeling and Design*. Prentice-Hall, 1991.
- [73] Rumbaugh, J., Booch, G., Jacobson, I. *UML – Guia do Usuário*, Editora Campus, 2001.
- [74] SAIF. <http://www.wimsey.com/infosafe/saif/saifHome.html>, 2002.

- [75] Schlieder, C. *Reasoning about Ordering*, A.U. Frank and W. Kuhn (eds.), Proceedings of European Conference on Spatial Information Theory – a theoretical basis for GIS (COSIT-95), pp. 341-349, 1995.
- [76] Schlieder, C. *Qualitative Shape Representation*, P. A Burrough and A.U. Frank (eds.), Geographic Objects with Intermediate Boundaries (GISDATA-2), pp. 123-139, 1996.
- [77] Sharma, J. , Flewelling, D. M. *Inferences from Combined Knowledge about Topology and Directions*. Proceedings of the 4th International Symposium on Advances in Spatial Databases, pp. 279-291. 1995.
- [78] Smallworld, <http://www.smallworld-us.com>, 2003.
- [79] Spring, *SPRING – Manual do Usuário*. Versão Preliminar, fevereiro 1993.
- [80] Strand, E., Mehta, R., Jairam, R. *Applications Thrive on Open Systems Standards. Standard View – ACM Perspectives on Standardization*, pp. 148-154, 1994.
- [81] STDS. <ftp://stds.er.esgs.gov>, 2003.
- [82] Thomas, N. *Fundamentals of GIS*, 2001.
- [83] Times, V. C. *The Application of Qualitative Spatial Reasoning to Geographical Information Science*, PhD Thesis, School of Computer Studies, University of Leeds, 1999.
- [84] Visual Basic, Microsoft. <http://msdn.microsoft.com/vbasic/>, 2003.
- [85] Worboys, M. F. *Metrics and Topologies for Geographic Space*. Advances in GIS Research II, Vol.1. Proceedings of 7th International Symposium Spatial Data Handling, pp. 7A.1-7A.11, 1996.
- [86] Wolter, F., Zakharyashev, M. *Spatial Reasoning in RCC-8 with Boolean Region Terms*, W. Horn(Ed.), Proceedings of Fourteenth European Conference on Artificial Intelligence – ECAI 2000, pp. 244-248, 2000.
- [87] Wolter, F., Zakharyashev, M. *Spatial-temporal Representation and Reasoning based on RCC-8*, Proceedings of Seventh Conference on Principles of Knowledge, Representation and Reasoning – KR 2000, pp. 3-14, 2000.
- [88] Zadeh, L. A. *Fuzzy Sets, Information and Control*, 1965.