

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

**ANÁLISE ESPACIAL DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO
DO MUNICÍPIO DE FORTALEZA**

Marcelo Pereira Queiroz

**Dissertação submetida ao Programa de
Mestrado em Engenharia de Transportes
da Universidade Federal do Ceará, como
parte dos requisitos para a obtenção do
título de Mestre em Ciências (M. Sc.) em
Engenharia de Transportes.**

ORIENTADOR: Prof. Carlos Felipe Grangeiro Loureiro, PhD.

Fortaleza
2003

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

**ANÁLISE ESPACIAL DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO
DO MUNICÍPIO DE FORTALEZA**

Marcelo Pereira Queiroz

**Dissertação submetida ao Programa de
Mestrado em Engenharia de Transportes
da Universidade Federal do Ceará, como
parte dos requisitos para a obtenção do
título de Mestre em Ciências (M. Sc.) em
Engenharia de Transportes.**

ORIENTADOR: Prof. Carlos Felipe Grangeiro Loureiro, PhD.

Fortaleza
2003

FICHA CATALOGRÁFICA

QUEIROZ, MARCELO PEREIRA

Análise Espacial dos Acidentes de Trânsito do Município de Fortaleza. Fortaleza, 2003.

XX, 124 fl., Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

1. Trânsito - Dissertação
2. Acidentes
3. Análise Espacial

CDD 388

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

QUEIROZ, M. P. (2003). Análise Espacial dos Acidentes de Trânsito do Município de Fortaleza. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 124 fl.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Marcelo Pereira Queiroz

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Análise Espacial dos Acidentes de Trânsito do Município de Fortaleza.

Mestre / 2003

É concedida à Universidade Federal do Ceará permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Marcelo Pereira Queiroz

Rua Mozart Pinto, 413

60325-670 – Fortaleza/CE – Brasil

ANÁLISE ESPACIAL DE ACIDENTES DE TRÂNSITO DO MUNICÍPIO DE FORTALEZA

Marcelo Pereira Queiroz

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Aprovada por:

Prof. Carlos Felipe Grangeiro Loureiro, PhD.
(Orientador)

Prof. Júlio Francisco Barros Neto, D.Sc.
(Examinador Interno)

Profa. Yaeko Yamashita, PhD.
(Examinadora Externa)

FORTALEZA, CE – BRASIL

Outubro de 2003

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, José Sidnei e Maria do Carmo, que sempre
investiram na minha formação.
À minha irmã, Solange, pelo carinho, apoio e companheirismo.
À minha namorada, Delane, pelo amor, paciência e dedicação.
Aos meus verdadeiros AMIGOS.
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus pelo dom da vida que me foi concebido e pela paz de espírito e paciência necessários para a elaboração desta pesquisa.

Em seguida, agradeço ao apoio fornecido pelos meus familiares. Em especial, agradeço aos meus pais, José Sidnei e Maria do Carmo, pelo apoio em todos os momentos durante esta pesquisa. Várias foram as dificuldades que superamos para concretizar o objetivo maior desta etapa em minha vida

À minha irmã, Solange, pela compreensão, pelo incentivo e pela magnífica pessoa que você é. Sua compreensão foi necessária para entender a minha ausência em alguns momentos importantes de sua vida. Seu incentivo foi fundamental para me ajudar a superar alguns momentos difíceis nesta caminhada.

À Tia Margarida Linhares por toda cooperação e incentivos fornecidos nesta caminhada, fundamentais para a formação de mais outro pesquisador em nossa família.

Além dos familiares, agradeço o apoio técnico e moral do meu professor orientador Felipe Loureiro, aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Transportes (DET), aos funcionários e colegas da Autarquia Municipal de Trânsito Cidadania e Serviços Públicos de Fortaleza (AMC) e da Associação Técnico Científica Engenheiro Paulo de Frontim (ASTEF).

Ao Professor Felipe Loureiro, pela valiosa orientação deste trabalho, por acreditar e investir em minha capacidade profissional e acadêmica proporcionando oportunidades para o desenvolvimento da minha autonomia e autoconfiança necessárias para a elaboração de um tema de pesquisa até então inédita em nossa comunidade acadêmica. Agradeço também pela amizade construída nesse período.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Transportes (DET), em especial aos professores João Alencar e Mário Azevedo, pelos conhecimentos repassados e pelos debates realizados que contribuíram para a minha formação profissional. Vale ressaltar o apoio administrativo dos funcionários deste Departamento, em especial a Ivone Sales, pelo carinho e atenção fornecidos nesta caminhada.

À Autarquia Municipal de Trânsito Cidadania e Serviços Públicos de Fortaleza (AMC), na pessoa do Hélio Henrique e do Carlos Henrique, pela liberação dos dados e pelo apoio profissional. Em especial, agradeço aos funcionários do SIAT-FOR, Flávio Cunto e Raimundo Melo, pelo apoio técnico prestado no decorrer deste trabalho.

Aos funcionários do CTA-FOR, Hamifrancy Meneses, Paulo Marinho, Francisco Moraes, pelo apoio técnico na elaboração dos programas computacionais. Em especial, agradeço ao colega Hamifrancy pelas discussões e conselhos técnicos prestados no decorrer desta pesquisa.

Ao Eng. Lúcio Correia Lima, representando a Associação Técnico Científica Engenheiro Paulo de Frontim (ASTEF), pelas discussões e conselhos profissionais prestados em vários momentos desta caminhada.

Este trabalho também não poderia ser realizado sem o apoio moral fornecido tanto pelos colegas de Mestrado como pelos amigos pessoais. Agradeço aos meus colegas Eduardo Praça, Expedito Brandão, Miguel Ary, José Iran, Inês Bandeira, Rosina Azevedo, Heider Augusto e Jovino Batista, pelos momentos agradáveis vividos durante o curso de mestrado. Em especial agradeço a Camila Soares pelos conselhos e pela amizade construída em nosso convívio na sala de pesquisa de análise espacial.

Aos meus amigos José Mário, Cecília Duarte, Washington Paulino, Milton Filho e Ricardo Rodrigues pelos agradáveis momentos de descontração e incentivo e também pela compreensão para entender a minha ausência em vários momentos de alegria que não pude participar.

Agradeço também às minhas amigas do coração, Zeli Timbó, Aline Timbó e Ariene Timbó, pelo convívio alegre, responsável e fraternal, que temos desde a chegada de vocês a “nossa” humilde residência.

Ao final, mas de forma especial, agradeço à minha namorada, Delane Uchôa, pela paciência e pelo companheirismo nesta dissertação. Os seus conselhos foram muito importantes para superar algumas dificuldades neste percurso. Você foi uma peça fundamental nesta pesquisa.

Resumo da Dissertação submetida ao PETRAN/UFC como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências (M.Sc.) em Engenharia de Transportes.

ANÁLISE ESPACIAL DE ACIDENTES DE TRÂNSITO NO MUNICÍPIO DE FORTALEZA

Marcelo Pereira Queiroz

Outubro / 2003

Orientador: Prof. Carlos Felipe Grangeiro Loureiro

Os índices de acidentes de trânsito vêm sendo usados para caracterizar a situação da segurança de tráfego de países, estados e municípios, comparando os valores obtidos entre si e também com índices padrões internacionais. Além disto, os índices servem para avaliar os resultados das medidas de tratamento implantadas na malha viária pelo órgão gestor de trânsito. Com a integração dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) ao conjunto de ferramentas mais robustas da análise espacial, vários índices podem ser gerados e analisados de forma mais eficiente, considerando o caráter espacial do fenômeno dos acidentes. O presente trabalho se propôs a analisar geograficamente este fenômeno, a partir da elaboração de uma base georeferenciada de dados de acidentes de trânsito para, em seguida, aplicar e demonstrar o potencial das ferramentas de análise e estatística espacial na área de segurança de tráfego. Estas ferramentas foram usadas para obter uma caracterização espacial sistêmica das condições de segurança viária que possam auxiliar na identificação de locais críticos e fornecer mais informações para subsidiar a tomada de decisão nos órgãos de gerência do trânsito. Como exemplo de aplicação, foram usados os dados de acidentes do Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito de Fortaleza (SIAT-FOR) que foram georeferenciados usando uma rotina desenvolvida na linguagem de programação interna de um pacote comercial de SIG. A principal contribuição desta pesquisa foi trazer um novo posicionamento crítico no trato da informação geográfica quantitativa dentro da área de engenharia de transportes e, principalmente, da segurança de tráfego. Este novo posicionamento nasce do reconhecimento da natureza espacial dos dados de transportes e se consolida nas possibilidades de aplicação das ferramentas de análise e estatística espacial que o ambiente digital propicia.

Abstract of Thesis submitted to PETRAN/UFC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.) in Transportation Engineering.

SPATIAL ANALYSIS OF TRAFFIC ACCIDENTS IN THE CITY OF FORTALEZA

Marcelo Pereira Queiroz

October / 2003

Advisor: Prof. Carlos Felipe Grangeiro Loureiro

Traffic accident indexes have been used to characterize the traffic safety conditions in countries, states and cities, allowing comparisons among them and with international standard indexes. Besides, the indexes are used to evaluate the results of the treatment measures implemented in the street network by the traffic management department. With the integration of the Geographical Information Systems (GIS) to a group of more robust tools of spatial analysis, various indexes can be determined and analyzed in a more efficient way, taking into account the spatial attribute of the accidents phenomenon. The main objective of this work was to geographically analyze such a phenomenon, beginning with the implementation of a geocoded database of traffic accidents and, then, applying and demonstrating the potential of spatial analysis and statistical tools for the area of traffic safety. These tools were used to develop a systemic spatial characterization of the safety conditions over the street network, making it possible to identify critical spots and to provide more information to subsidize the decision making process at the traffic management department. As a sample application, this study considered the traffic accident data of Fortaleza's Traffic Accident Information System (SIAT-FOR), geocoded using a routine developed in a GIS programming language. It is believed that the main contribution of this research was to bring a new critical thinking to the treatment of the quantitative geographical information within the broader area of transportation engineering and, specifically, in dealing with traffic safety issues. This way of thinking comes from the recognition of the spatial nature of transport data and gets consolidated in the many possibilities of applying the spatial analysis and statistical tools that rise from the digital environment.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO.....	1
1.1. APRESENTAÇÃO.....	1
1.2. PROBLEMA E HIPÓTESE DE PESQUISA.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.4. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	5

CAPÍTULO 2

METODOLOGIAS DE ESTUDO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO.....	7
2.1. APRESENTAÇÃO.....	7
2.2. ETAPAS METODOLÓGICAS.....	7
2.3. COLETA DE DADOS.....	9
2.4. MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS CRÍTICOS.....	13
2.5. ÍNDICES DE ACIDENTES DE TRÂNSITO.....	14
2.5.1. Índices absolutos.....	15
2.5.2. Índices relativos.....	16
2.6. METODOLOGIA DO PROGRAMA PARE PARA IDENTIFICAÇÃO DOS LOCAIS CRÍTICOS.....	19
2.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	21

CAPÍTULO 3

ANÁLISE ESPACIAL E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS.....	23
3.1. APRESENTAÇÃO.....	23
3.2. ANÁLISE ESPACIAL: CONCEITOS E NÍVEIS DE ANÁLISE.....	24
3.3. FERRAMENTAS DE ANÁLISE ESPACIAL.....	27
3.4. ESTATÍSTICA ESPACIAL.....	28
3.4.1. Estacionariedade e Isotropia.....	30
3.4.2. Estatísticas globais x estatísticas locais.....	30
3.4.3. Autocorrelação.....	31
3.4.4. Índices de autocorrelação.....	31
3.4.5. Matriz de Adjacência.....	32

3.5. FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE DADOS EM ÁREA.....	32
3.5.1. Visualização de dados	32
3.5.2. Média espacial móvel.....	33
3.5.3. Diagrama de espalhamento de Moran.....	34
3.5.4. Estatísticas de autocorrelação espacial global	35
3.5.5. Estatísticas de autocorrelação espacial local	38
3.6. FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE PADRÕES PONTUAIS	39
3.6.1. Elipse de desvio padrão	40
3.6.2. Índice do vizinho mais próximo	41
3.6.3. Agrupamentos espaciais	42
3.7. APLICAÇÕES DE ANÁLISE ESPACIAL NA SEGURANÇA DE	
TRÁFEGO	46
3.8. SIG E GEOREFERENCIAMENTO	47
3.9. INTEGRAÇÃO ANÁLISE ESPACIAL E SIG.....	50
3.10. CONSIDERAÇÕES FINAIS	51

CAPÍTULO 4

GEOREFERENCIAMENTO DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO DE	
FORTALEZA.....	53
4.1. APRESENTAÇÃO.....	53
4.2. SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ACIDENTES DE TRÂNSITO DE	
FORTALEZA (SIAT-FOR)	53
4.2.1. Coleta de dados.....	54
4.2.2. Dados armazenados.....	57
4.2.3. Sistema computacional.....	57
4.3. GEOREFERENCIAMENTO DOS DADOS DO SIAT-FOR.....	61
4.3.1. Não georeferenciamento: motivos e soluções	62
4.3.2. Análise sobre a severidade e localização dos acidentes georeferenciados...	63
4.3.3. Mapas temáticos.....	65
4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	67

CAPÍTULO 5

ANÁLISE ESPACIAL DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO DO MUNICÍPIO DE FORTALEZA..... 69

5.1. APRESENTAÇÃO 69

5.2. ESTRUTURA DA METODOLOGIA PROPOSTA 70

5.3. ETAPAS DA METODOLOGIA PROPOSTA..... 70

5.3.1. Preparação da base de dados..... 70

5.3.2. Análise exploratória em áreas 73

5.3.3. Análise de padrões pontuais 74

5.4. PREPARAÇÃO DA BASE DE DADOS 75

5.4.1. Definição da unidade de análise de área..... 75

5.4.2. Agregação dos acidentes georeferenciados no formato de área selecionado..... 75

5.4.3. Definição e cálculo do índice de acidentes..... 76

5.4.4. Importação dos dados para uma plataforma comum..... 76

5.4.5. Verificação e correção da integridade topológica..... 78

5.5. ANÁLISE EXPLORATÓRIA EM ÁREAS 78

5.5.1. Visualização espacial 78

5.5.2. Identificação das tendências espaciais de crescimento 82

5.5.3. Identificação de regiões de transição 83

5.5.4. Concentração espacial global..... 85

5.5.5. Concentração espacial local..... 85

5.6. ANÁLISE DE PADRÕES PONTUAIS 88

5.6.1. Análise da distribuição espacial e temporal dos acidentes 88

5.6.2. Análise da distribuição espacial e temporal do total de acidentes em relação a variáveis socioeconômicas..... 89

5.6.3. Análise da distribuição espacial dos tipos de acidentes 90

5.6.4. Caracterização dos índices de acidentes com a linha de atuação do local crítico..... 95

5.6.5. Caracterização dos índices de acidentes com a linha de atuação do acidente típico 102

5.6.6. Caracterização dos índices de acidentes com a linha de atuação do tipo de usuário 104

5.6.7. Análise de sensibilidade dos critérios da técnica aplicados aos índices de acidentes	105
5.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
CAPÍTULO 6	
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	113
6.1. CONCLUSÕES	113
6.2. RECOMENDAÇÕES.....	115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Tratamento de locais críticos (MT, 2002).....	9
Figura 3.1: Visualização do efeito de escala na cidade de São Paulo (RAMOS, 2002).	26
Figura 3.2: Média móvel das taxas de desflorestamento (KAMPEL <i>et al.</i> , 2000).....	34
Figura 3.3: Gráfico do Diagrama de Espalhamento de Moran (CÂMARA <i>et al.</i> , 2000b)	34
Figura 3.4: <i>Box Map</i> do índice de exclusão/inclusão social de São Paulo (CÂMARA <i>et al.</i> , 2001).....	35
Figura 3.5: Elipses de desvio padrão dos roubos de carro em Baltimore (NIJ, 2002)...	41
Figura 3.6: Agrupamentos de roubos e assaltos em Baltimore (NIJ, 2002).....	46
Figura 4.1: Percentual de documentos repetidos coletados em 2001 e 2002.....	56
Figura 4.2: Percentual de acidentes com repetição coletados por cada fonte coletora..	56
Figura 4.3: Logradouros sem denominação do município de Fortaleza.	57
Figura 4.4: Logradouros sem numeração do município de Fortaleza.	58
Figura 4.5: Tela de cadastro de acidentes do SIAT-FOR (ASTEUF, 2001).	59
Figura 4.6: Tela de possíveis acidentes duplicados do SIAT-FOR (ASTEUF, 2001).	59
Figura 4.7: Títulos dos relatórios do SIAT-FOR requisitados pelo SINET (ASTEUF, 2001).	60
Figura 4.8: Títulos de outros relatórios elaborados pelo SIAT-FOR (ASTEUF, 2001)...	60
Figura 4.9: Severidade dos acidentes pelo tipo de localização.....	64
Figura 4.10: Localização dos acidentes georeferenciados com vítimas fatais.....	65
Figura 4.11: Interseções semaforizadas críticas em 2002.....	66
Figura 4.12: Quantidade de acidentes por bairro em 2001.	67
Figura 5.1: Estrutura da Metodologia.	71
Figura 5.2: Quantidade de acidentes por zona de análise de tráfego.....	79
Figura 5.4: Índice de acidentes/km usando intervalos de classes percentuais.	81
Figura 5.5: Índice de acidentes/km usando intervalos divididos conforme desvio padrão	81
Figura 5.6: Média móvel do índice de acidentes/km em 2001 e 2002.....	82
Figura 5.7: Diagrama de espalhamento de Moran do índice de acidentes/km em 2001 e 2002.....	84

Figura 5.8: Índice local de Moran do índice de acidentes/km em 2001 e 2002.....	86
Figura 5.9: <i>Moran Map</i> do índice de acidentes/km em 2001 e 2002.	87
Figura 5.10: Índice do vizinho mais próximo em 2001 e 2002.....	89
Figura 5.11: Distribuição dos acidentes e das variáveis socioeconômicas em 2001 e 2002.....	91
Figura 5.12: Elipses de desvio padrão da severidade dos acidentes em 2001 e 2002. ..	92
Figura 5.13: Elipses de desvio padrão do tipo de acidente em 2001 e 2002.....	94
Figura 5.14: Superposição das tipologias dos acidentes em 2001 e 2002.....	95
Figura 5.15: Agrupamentos de 1ª ordem do total de acidentes em 2001.....	96
Figura 5.16: Agrupamentos de 1ª ordem do total de acidentes em 2002.....	97
Figura 5.18: Agrupamentos de 2ª ordem do total de acidentes em 2001.....	100
Figura 5.19: Visualização de um agrupamento 2ª ordem do total de acidentes em 2001.	100
Figura 5.20: Agrupamentos de 2ª ordem do total de acidentes em 2001 e 2002.	101
Figura 5.21: Agrupamentos de 3ª ordem do total de acidentes em 2001 e 2002.	101
Figura 5.22: Visualização de um agrupamento de 1ª ordem de colisões em 2001.....	102
Figura 5.23: Agrupamentos de 2ª ordem com no mínimo 30 colisões em 2001 e 2002.	103
Figura 5.24: Agrupamentos de 2ª ordem com no mínimo 5 atropelamentos em 2001 e 2002.....	104
Figura 5.25: Visualização dos agrupamentos com vítimas pedestres em 2001.....	105
Figura 5.26: Representação das elipses de 1 e 2 desvios padrões.	107
Figura 5.27: Visualização de um agrupamento de acidentes c/ vítimas fatais em 2001.	109
Figura 5.28: Comparação entre os agrupamentos com 7 e 5 acidentes c/vítimas fatais.	110
Figura 5.29: Comparação entre os agrupamentos com 5 e 3 acidentes c/vítimas fatais.	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Tempo transcorrido para o falecimento das vítimas de acidentes	10
Tabela 3.1: Matrizes de correlação p/ as variáveis agrupadas em distritos e em zonas.	26
Tabela 4.1: Procedimentos de coleta de dados empregada pelo SIAT-FOR.....	55
Tabela 4.2: Motivos e soluções para o não georeferenciamento dos acidentes.....	62
Tabela 4.3: Porcentual de georeferenciamento conforme a severidade do acidente.....	64
Tabela 5.1: Índice do vizinho mais próximo para a severidade dos acidentes.	91
Tabela 5.2: Índice do vizinho mais próximo para os tipos de vítimas dos acidentes. ...	93
Tabela 5.3: Índice do vizinho mais próximo para a natureza dos acidentes.	93
Tabela 5.4: Análise comparativa entre o total de acidentes identificados pelo SIAT-FOR e pela técnica de agrupamento em 2001.....	98
Tabela 5.5: Comparação entre o total de acidentes identificados pelo SIAT-FOR e pela técnica de agrupamento em 2002.	98
Tabela 5.6: Análise de sensibilidade da quantidade de agrupamentos ao modificar o valor da variável t - 2001.	106
Tabela 5.7: Análise de sensibilidade da quantidade de agrupamentos ao modificar o valor da variável t - 2002.	106
Tabela 5.8: Análise de sensibilidade da quantidade de agrupamentos ao modificar quantidade mínima de acidentes - 2001.....	108
Tabela 5.9: Análise de sensibilidade da quantidade de agrupamentos ao modificar a variável quantidade mínima de acidentes - 2002.	108

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

*“Tudo vale a pena, se a alma não é pequena.”
Fernando Pessoa*

1.1. APRESENTAÇÃO

O acidente de trânsito é um dos problemas mais graves oriundos do tráfego rodoviário e se destaca no Brasil por ser uma das principais causas de morte, apresentando índices de fatalidade entre seis e sete vezes maiores que os índices de países desenvolvidos, como Alemanha, Inglaterra e Holanda (INTERNATIONAL ROAD TRAFFIC ACCIDENT DATABASE - IRTAD, 1997). Somente em 2001, os acidentes de trânsito causaram 22 mil mortes e um prejuízo de 7,5 bilhões de dólares ao país (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES - MT, 2002).

No Brasil, a cidade de Fortaleza se destaca por apresentar índices de acidentes elevados quando comparados com as demais capitais estaduais. O índice de mortos por 10.000 veículos e o índice de mortos por 100.000 habitantes deste município em 2001 foram, respectivamente, 63% e 55% maiores que os índices médios do país (DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO - DENATRAN, 2003c). Vale ressaltar que, em 2001, esta cidade possuía uma taxa de motorização de 180 veículos para cada grupo de 1.000 habitantes, valor correspondente à metade das taxas observadas em cidades como São Paulo, Porto Alegre e Florianópolis. Entretanto, nestas três capitais, as estatísticas oficiais indicavam menos de 3 mortos/10.000 veículos, o que corresponde a um número três vezes menor que o observado em Fortaleza. Deve-se observar que a estrutura bem organizada de coleta de dados de Fortaleza fazem com que os seus índices sejam mais elevados em relação a outras capitais estaduais.

A redução destes índices pode ser alcançada com a elaboração e execução de programas de segurança no tráfego, contendo macro e micromedidas (INSTITUTION OF HIGHWAYS AND TRANSPORTATION - IHT, 1990). As macromedidas são aquelas relacionadas aos programas de educação e fiscalização de trânsito. Já as micromedidas relacionam-se com situações locais específicas, abrangendo estudos e pesquisas de engenharia e segurança de tráfego, que contemplem as seguintes etapas

metodológicas: coleta de dados, identificação de locais críticos, análise e diagnóstico de problemas nestes locais, concluindo com a proposição e avaliação de medidas de tratamento.

Estas metodologias visam identificar e tratar os fatores causadores dos acidentes de trânsito que estão relacionados ao condutor, ao ambiente viário e ao veículo. Entretanto, identificar estes fatores não é uma atividade trivial. BRAGA (1993) argumenta que, para avançar na melhoria das condições de segurança viária, é necessária uma compreensão mais ampla e profunda do processo que leva ao acidente. Portanto, torna-se imprescindível a elaboração de um banco de dados atualizado para permitir a caracterização e o diagnóstico do fenômeno dos acidentes. A principal função deste banco de dados é prover o cálculo de índices de acidentes que identifiquem locais críticos no sistema viário, possibilitando a investigação dos fatores contribuintes dos acidentes em cada local (BAGINSKI, 1995).

Ao se analisar os dados de acidentes, deve-se considerar, entretanto, que suas ocorrências representam eventos espaciais aleatórios, com alguns locais mostrando um elevado número de ocorrências num dado período, enquanto outros locais apresentam frequências bem abaixo das médias esperadas. Segundo LEVINE *et al.* (1995), deve-se buscar um modelo regional geral para descrever geograficamente o comportamento dos acidentes, já que as suas ocorrências não podem ser representadas apenas por uma distribuição irregular espacial. Tal fato implica que os acidentes, assim como outros fenômenos espaciais, são geograficamente dependentes, ou autocorrelacionados, o que impossibilita o uso de muitos modelos estatísticos tradicionais que partem do pressuposto da independência entre os eventos observados (CRESSIE, 1993; NICHOLSON, 1998).

Por considerar o argumento da dependência espacial dos acidentes, e sabendo que os acidentes constituem um fenômeno espacial dinâmico, de causas integradas, com sérias conseqüências para a sociedade, decidiu-se que uma das metas de implantação do Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito de Fortaleza (SIAT-FOR) seria a sua integração com um Sistema de Informações Geográficas (SIG) de modo a possibilitar a incorporação da análise espacial aos estudos de segurança viária. Contudo, a aplicação desta análise se depara com o obstáculo da falta de experiência no georeferenciamento

dos acidentes usando rotinas ou programas automatizados. Ademais, o principal problema para o uso de todo o potencial da análise espacial relaciona-se com a ausência do domínio do seu universo teórico-conceitual para aplicações na engenharia de transportes. Isto tem feito com que as aplicações na segurança de tráfego nacional deixem de usar as ferramentas mais avançadas de análise espacial, limitando-se às ferramentas mais simples disponibilizadas em vários pacotes comerciais de SIG.

Dadas as limitações observadas para a aplicação da análise espacial nas pesquisas de segurança de tráfego nacional, este trabalho se propõe a analisar geograficamente o fenômeno dos acidentes, elaborando uma base georeferenciada de dados de acidentes para, em seguida, usar e demonstrar o potencial das ferramentas de análise e estatística espacial para a segurança de tráfego.

1.2. PROBLEMA E HIPÓTESE DE PESQUISA

Os elevados índices de acidentes de trânsito em Fortaleza, assim como a possibilidade de gerar mais informações a partir de um banco de dados georeferenciados de acidentes usando ferramentas de análise espacial, até então inexploradas na segurança de tráfego nacional, foram determinantes para a definição deste tema de pesquisa.

Estas novas informações podem ser geradas a partir dos índices de acidentes de trânsito. Atualmente, estes índices são usados para caracterizar a situação da segurança de tráfego de uma localidade (estados, municípios, etc...), ao compará-los tanto com índices padrões internacionais, como com índices de outras localidades. Além disto, os índices servem para avaliar os resultados das medidas de tratamento implantadas na malha viária pelo órgão gestor de trânsito. Os índices de ocorrência de determinados eventos também são aplicados em outras ciências com diversos objetivos. Entretanto, BEATO (2002) critica o uso de um banco de dados apenas para o cálculo de índices de segurança pública e questiona se uma análise mais compreensiva está sendo descartada em favor da elaboração de relatórios de pouca serventia. Esta mesma crítica pode ser feita aos índices de acidentes de trânsito.

Conhecidas as aplicações dos índices de acidentes, o problema de pesquisa está relacionado às dificuldades em se obter uma caracterização espacial sistêmica das condições de segurança de tráfego que possam auxiliar a identificação de locais críticos

e fornecer mais informações para subsidiar a tomada de decisão nos órgãos de gerência de trânsito.

A hipótese considerada nesta pesquisa de dissertação é: os índices de acidentes e suas diversas linhas de atuação podem ser usados tanto para obter uma caracterização espacial sistêmica das condições de segurança na malha viária de Fortaleza identificando agrupamentos, tendências e dependências espaciais, assim como para identificar locais críticos considerando relações espaciais topológicas por meio das ferramentas de análise espacial.

1.3. OBJETIVOS

Constituiu-se como principal objetivo desta pesquisa desenvolver e aplicar uma metodologia de análise espacial dos acidentes de trânsito de Fortaleza, possibilitando uma caracterização mais eficaz por meio de um tratamento sistêmico do problema da segurança de tráfego na malha viária desta cidade.

Os objetivos específicos almejados foram:

- a) Elaborar uma base de dados georeferenciados, a partir de uma interface lógica entre o SIAT-FOR e o pacote computacional de SIG *TransCAD for Windows 3.0* (CALIPER, 1996), contendo vários atributos dos acidentes, tais como as características das vítimas, dos condutores, dos veículos e dos acidentes;
- b) Diagnosticar os problemas detectados no processo de georeferenciamento dos acidentes e apresentar algumas soluções para garantir uma maior eficiência neste processo;
- c) Demonstrar que ferramentas de análise exploratória espacial em áreas podem contribuir para uma caracterização espacial sistêmica das condições de segurança na malha viária de Fortaleza, usando os índices de acidentes de trânsito; e,
- d) Apresentar o potencial das ferramentas de análise de padrões pontuais para caracterizar e diferenciar geograficamente a tipologia dos acidentes e os índices de acidentes com suas diversas linhas de atuação.

1.4. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Este estudo foi dividido em seis capítulos, cujos conteúdos estão descritos abaixo.

O Capítulo 1 (Introdução) fornece uma visão introdutória sobre a ocorrência dos acidentes de trânsito, os índices de acidentes e os seus bancos de dados. Apresenta também o problema de pesquisa e os objetivos deste estudo.

No Capítulo 2 (Metodologia de Estudo de Acidentes de Trânsito) são abordadas as metodologias de estudo dos acidentes, destacando-se as etapas de coleta de dados e de identificação de locais críticos. As atribuições e deficiências dos bancos de dados de acidentes são discutidas e são apresentados os índices de acidentes, absolutos e relativos, citando suas vantagens e desvantagens.

No Capítulo 3 (Análise Espacial e Sistemas de Informações Geográficas) são discutidos os conceitos de análise de dados espaciais, de SIG e georeferenciamento. Citam-se alguns exemplos de trabalhos acadêmicos internacionais sobre a aplicação das ferramentas de análise espacial na segurança de tráfego e faz-se uma discussão sobre a aplicação destas ferramentas nos estudos sobre segurança viária nacional.

O Capítulo 4 (Georeferenciamento dos Acidentes de Trânsito de Fortaleza) caracteriza, inicialmente, a utilidade e os principais elementos do banco de dados de acidentes usado em Fortaleza. Em seguida, a metodologia desenvolvida para georeferenciamento dos acidentes é apresentada, descrevendo as principais etapas de sua implementação, os resultados e sua utilidade para avaliar a eficiência de um banco de dados para a engenharia de tráfego.

A primeira metade do Capítulo 5 (Análise Espacial dos Acidentes de Trânsito do Município de Fortaleza) exemplifica o uso das ferramentas de análise exploratória em áreas para obter uma caracterização espacial sistêmica das condições de segurança viária em uma área. A outra metade analisa a distribuição espacial e temporal dos acidentes, caracterizando geograficamente os tipos de acidentes e apresentando o uso dos agrupamentos espaciais como ferramenta para caracterizar os índices de acidentes e suas linhas de atuação, usando as ferramentas de análise de padrões pontuais.

No Capítulo 6 (Conclusões e Recomendações), partindo-se da análise do desempenho das ferramentas de análise espacial para a segurança viária, os resultados obtidos são comentados, propondo algumas linhas direcionais para outros estudos a serem desenvolvidos sobre o assunto.

CAPÍTULO 2

METODOLOGIAS DE ESTUDO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO

“A capacitação para projetar e construir vias é altamente desenvolvida, mas a capacitação para analisar acidentes de trânsito é pouco desenvolvida”.
Eduardo A. Vasconcelos

2.1. APRESENTAÇÃO

Os acidentes de trânsito aumentam a cada ano em nosso país, resultando em uma quantidade cada vez maior de pessoas mortas. Reduzir a probabilidade de ocorrência deste fenômeno foi uma das atribuições delegadas aos municípios na revisão do Código de Trânsito Brasileiro (CTB, 1998). Para auxiliar nesta tarefa, as cidades são orientadas a usar as metodologias elaboradas pelos órgãos do governo federal, baseadas na determinação / aplicação dos índices de acidentes de trânsito.

Apresentar as etapas das metodologias de estudos de acidentes de trânsito, discutindo-se as etapas de coleta de dados e de identificação de locais críticos constitui o objetivo principal deste capítulo. Na primeira etapa, a estrutura da coleta de dados de acidentes no Brasil é discutida, citando suas vantagens e desvantagens. Em seguida, discorre-se também sobre as condições de armazenamento destes dados no âmbito nacional.

A formulação teórica e os tipos de índices de acidentes de trânsito, com suas respectivas linhas de atuação, são discutidos na última seção deste capítulo, que também aborda os principais métodos de identificação de locais críticos usados no Brasil, observando suas vantagens e desvantagens.

2.2. ETAPAS METODOLÓGICAS

A redução da quantidade ou da severidade dos acidentes de trânsito pode ser alcançada com a aplicação de um conjunto de medidas relacionadas aos quatro elementos que compõem o sistema de tráfego (homem, via, ambiente e veículo). As medidas relacionadas à via e ao meio ambiente consistem de uma série de intervenções físicas e operacionais nas vias realizadas sequencialmente com o uso de metodologias.

Estas metodologias visam identificar e diagnosticar os locais problemáticos, para definir medidas de tratamento apropriadas para reduzir e, se possível, eliminar esses problemas (IHT, 1996). Este órgão subdivide estas metodologias em quatro etapas:

- *Coleta de dados*: consiste em coletar e armazenar os dados de acidentes, os dados das características físicas, geométricas e operacionais das vias e os dados de tráfego;
- *Identificação de locais problemáticos*: consiste em recuperar os dados dos acidentes, listar os locais problemáticos e estabelecer as prioridades para uma investigação direcionada;
- *Diagnóstico dos problemas*: consiste em analisar os locais críticos de acidentes, estudando detalhadamente os conflitos de tráfego e os relatórios de acidentes para determinar e reconhecer as possíveis correlações entre os fatores relevantes nas ocorrências destes acidentes; e,
- *Busca e avaliação de medidas corretivas*: visa determinar o conjunto de medidas que podem influenciar os fatores dominantes, realizar a avaliação econômica de benefício/custo de cada medida e selecionar as medidas a serem implementadas.

No Brasil, o Ministério dos Transportes apresenta uma metodologia que se difere das demais por inserir a etapa de coleta de dados na etapa de identificação de locais críticos (MT, 2002). A Figura 2.1 apresenta a subdivisão e o relacionamento entre cada etapa da metodologia, destacando as ferramentas do segundo grupo (Investigação dos fatores contribuintes), que são fundamentais para um diagnóstico correto deste fenômeno.

Todas as etapas metodológicas possuem sua importância para a análise dos acidentes. Entretanto, devido ao vasto conteúdo de cada uma, este trabalho aborda somente as etapas de coleta de dados e de identificação de locais críticos. A próxima seção discute os procedimentos de coleta de dados.

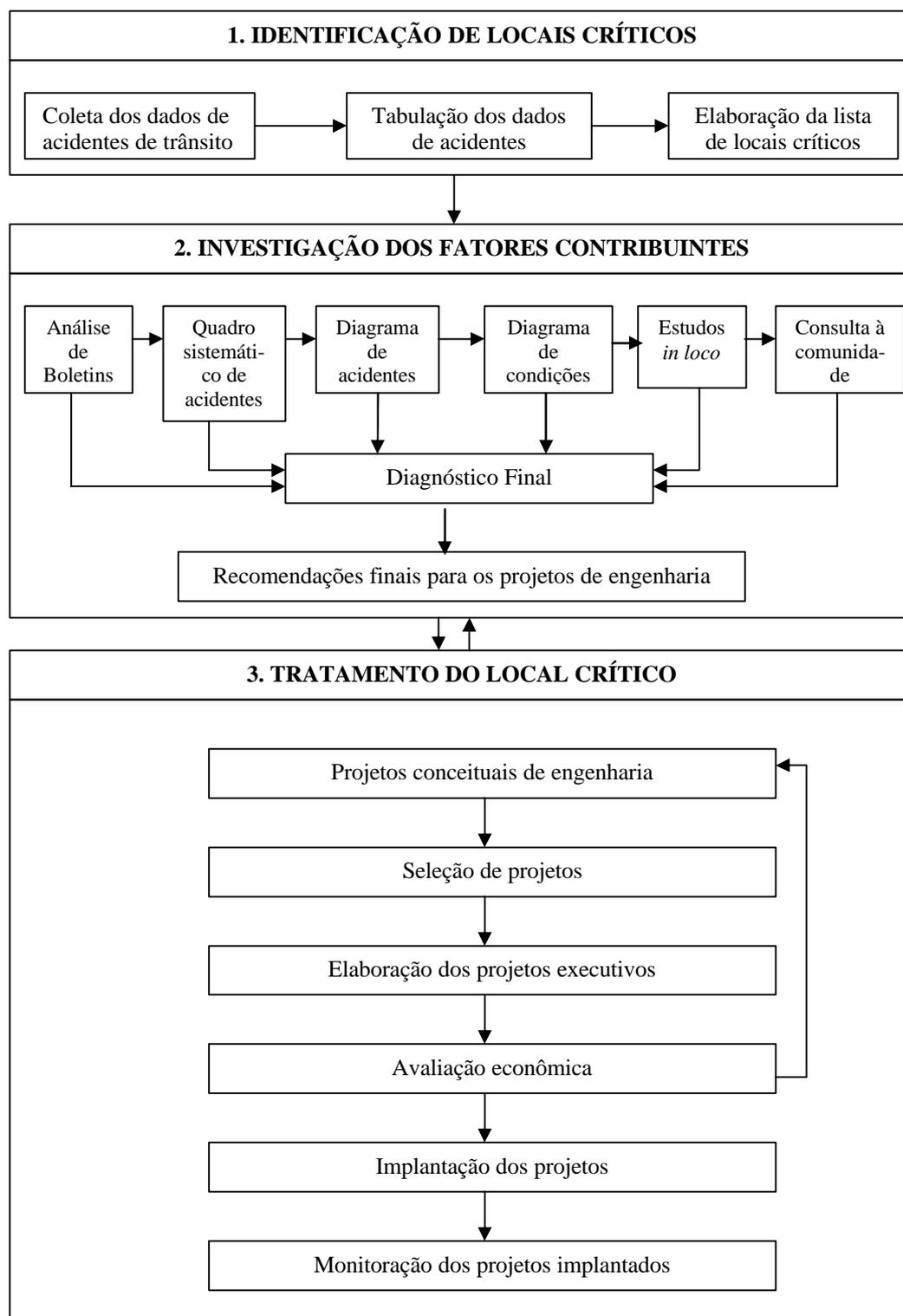


Figura 2.1: Tratamento de locais críticos (MT, 2002).

2.3. COLETA DE DADOS

Esta etapa disponibiliza os dados necessários para a análise dos acidentes, tais como os dados de acidentes, de tráfego e do ambiente viário. No Brasil, não existe uma conduta uniforme quanto às formas de registro, coleta e tratamento dos dados de acidentes. Na maioria dos municípios brasileiros, esta coleta é executada por policiais

militares e civis (MT, 2002). O restante, aproximadamente 10% das cidades nacionais, cujo trânsito já foi municipalizado, coleta estes dados usando os agentes de trânsito, garantindo uma maior qualidade na execução desta atividade (DENATRAN, 2003a).

O Boletim de Ocorrência (BO) é o principal documento no qual os órgãos responsáveis pela coleta de dados registram as informações indispensáveis sobre os acidentes. O DENATRAN (2000), ao elaborar o Sistema Nacional de Estatística de Acidentes de Trânsito (SINET), relacionou os dados mínimos que devem obrigatoriamente constar em um BO, para depois serem cadastrados em um banco de dados. Estes dados subdividem-se em seis grupos: localização (endereçamento), momento do acidente (data, hora,...), características do condutor, do acidente, do veículo e da vítima.

Após coletar os dados, duas atividades devem ser executadas: avaliar e criticar os dados coletados e realizar o acompanhamento de vítimas por 30 dias. A primeira fase deve garantir a qualidade do registro para que o local crítico seja identificado corretamente (MT, 2002). A segunda serve para verificar a severidade do acidente, pois a maioria das vítimas fatais não falece no local do acidente, como demonstram os resultados da pesquisa realizada pelo DETRAN/DF, apresentada na Tabela 2.1. Poucos estados fazem este acompanhamento por não disporem de pessoal para coleta da informação ou por não existir vínculo entre algumas instituições públicas (EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES – GEIPOT, 1999).

Tabela 2.1: Tempo transcorrido para o falecimento das vítimas de acidentes

Óbitos	Porcentagem Acumulada
No momento do acidente	38,3 %
No dia do acidente	71,0 %
Na primeira semana após o acidente	93,4 %
Até 30 dias após o acidente	98,3 %

Fonte: GEIPOT (1999).

Como este acompanhamento não é realizado na maioria dos estados brasileiros, o percentual dos dados de acidentes que não são registrados nas estatísticas oficiais, processo denominado de subregistro de dados, torna-se ainda mais elevado. GOLD (1998) cita que a quantidade de mortos em acidentes de trânsito registrados pelo Ministério da Saúde em 1995 é 30% superior aos mortos registrados pelo DENATRAN.

Em uma pesquisa de 1987, foi detectado que o total de mortes nas rodovias federais do Rio de Janeiro aumentou em 54% quando se fez um acompanhamento dos casos de pacientes internados (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER, 1985).

Vale lembrar que nenhum acidente deve ser cadastrado se houver qualquer dúvida ou erro na identificação do local de ocorrência do acidente. Nos EUA, algumas agências estaduais indicavam, na década de 70, que de 10 a 30% dos dados não podem ser cadastrados por estes motivos (ZEEGER, 1982 *apud* SETTI, 1985). Em Fortaleza, aproximadamente 12% dos dados também não puderam ser cadastrados por este motivo (QUEIROZ *et al.*, 2003).

O cadastro de dados físicos, operacionais e funcionais das vias deve ser composto pelas informações referentes a interseções, trechos ou locais específicos do sistema viário. O cadastro de dados de tráfego deve conter os dados referentes a volume, composição e velocidade dos fluxos de tráfego na malha viária (IHT, 1990).

Todos estes dados coletados podem ser armazenados em dois tipos de banco de dados (GOLD, 1998). O banco de dados manual consiste na anotação organizada dos BO's e arquivamento em estantes para posterior análise e diagnóstico dos acidentes em locais críticos. O banco de dados informatizado consiste em armazenar os dados coletados em computadores. Este último possibilita armazenar e recuperar rapidamente uma enorme quantidade de dados, realizar a consistência da localização do acidente e dos seus demais dados, possibilitar o intercâmbio de dados com outros programas e elaborar vários tipos de relatórios. Todas estas características fazem com que ele seja o mais recomendado para as médias e grandes cidades, principalmente para aquelas que já municipalizaram o trânsito.

Vale ressaltar que a confiabilidade de um banco de dados em relação à coleta dos acidentes tem se mostrado bastante reduzida em muitos casos, diferenciando-se pela severidade e pelo tipo de vítima. ELVIK e MISSEN (1995), analisando a ocorrência de acidentes de trânsito em 13 países, verificaram que 95% dos acidentes com vítimas fatais, 70% das vítimas feridas admitidas em hospital e apenas 10% dos acidentes com vítimas feridas leves estavam cadastrados nos bancos de dados. Com relação ao tipo de vítima, os ocupantes de veículos possuem os maiores percentuais de confiabilidade,

enquanto os ciclistas possuem os menores, abaixo de 10% do total de acidentes. No Brasil, TRINDADE JR. (1988) constatou que a confiabilidade dos dados é insuficiente para a caracterização adequada da problemática da segurança de trânsito. As estatísticas não têm sido processadas de maneira a oferecer uma análise consistente, proporcionando, assim, relatórios estatísticos de confiança duvidosa.

Uma tarefa importante após o cadastro de acidentes é a análise de consistência que pode ser subdividida em duas etapas (DENATRAN, 2003b). A crítica visual é a primeira etapa e consiste em totalizar a quantidade de acidentes em um período para depois observar os valores discrepantes em relação aos demais, assim como em relação aos mesmos dados de épocas anteriores. Deve-se ter precaução com o dado considerado discrepante, que pode ser causado por festividades em certas épocas do ano em que ocorrem muitos acidentes. A outra etapa é a verificação de inconsistência detectada a partir de comparações entre os campos abaixo:

- Quantidade de condutores envolvidos em acidentes não pode ser menor que a quantidade de acidentes;
- Quantidade de veículos envolvidos em acidentes não pode ser menor que a quantidade de acidentes;
- Quantidade de vítimas não pode ser menor que a quantidade de acidentes com vítimas; e,
- Quantidade de veículos envolvidos em acidentes não pode ser menor que a quantidade de condutores de veículos acidentados.

Segundo MT (2002), poucos são os órgãos gestores de trânsito que possuem as informações dos BO's em meio magnético e menos ainda aqueles que a tratam de modo estruturado. Os casos mais frequentes são situações de absoluta precariedade, em quantidade e qualidade, nos quais as informações disponíveis não são sequer suficientes para identificar o local das ocorrências.

Dentre os órgãos de trânsito nacionais que possuem bancos de dados de acidentes informatizados, GOLD (1998) apresenta as principais características de alguns deles. O Sistema de Acidentes de Trânsito (SAT), em São Paulo, destaca-se por ser

acessível via rede de microcomputadores a qualquer escritório regional da Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) e por emitir relatórios por zona da cidade. O Banco Informatizado de Acidentes de Trânsito (BIAT) foi desenvolvido por consultores em São Paulo e se caracteriza por verificar imediatamente a consistência de cada dado introduzido, pedindo correções se necessário. O Observatório de Acidentes de Trânsito (OAT), em Curitiba, permite o cadastro de dados de outras fontes que possam ter dados sobre acidentes, tais como o Instituto Médico Legal (IML) e fichas de hospitais. Ele também permite o registro de dados de volume de tráfego obtidos por contagens manuais ou automáticas proporcionando a obtenção de índice de acidentes cuja medida de exposição seja o volume de tráfego. Outro banco de dados, citado por ARAÚJO e CRUZ (2002), é o Sistema de Gerenciamento de Informações Estatísticas de Trânsito de Veículos e Pedestres, implantado em Natal, que usa pacotes estatísticos para cálculos de inferências estatísticas de acidentes.

O *Microcomputer Accident Analysis Package (MAAP)* foi elaborado para os países em desenvolvimento pelo *Transportation Research Laboratory (TRL)* no Reino Unido, destacando-se pela confecção de relatórios avulsos segundo as necessidades do usuário (GOLD, 1998). Isto possibilita a combinação de vários atributos pelo próprio usuário para que novas conclusões sobre os acidentes possam ser obtidas, sendo que nenhum dos bancos de dados nacionais acima citados possui esta característica.

As próximas seções estão relacionadas à etapa de identificação de locais críticos. Inicialmente, são abordadas as definições e subdivisões dos métodos mais usados. Logo após, são apresentados os índices de acidentes e suas possíveis linhas de atuação.

2.4. MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS CRÍTICOS

Estes métodos objetivam identificar os locais que estejam associados a níveis de segurança viária que ponham em risco os motoristas, passageiros, pedestres, ciclistas e os veículos, e classificá-los visando o planejamento e a otimização dos recursos disponíveis para definição de prioridades das intervenções necessárias para redução da probabilidade de ocorrência de acidentes no conjunto das vias (MENESES, 2001).

Um item importante e que requer bastante cuidado é a definição do período de tempo, pois recuar muito no tempo pode conduzir à coleta de uma maior quantidade de dados e, conseqüentemente, o uso de dados que não representem a situação atual e que

poderão levar a resultados inexatos. Por outro lado, usar dados correspondentes a um curto período proporciona uma redução do nível de significância estatística desses dados, por constituir uma amostra reduzida. A solução consiste em encontrar um equilíbrio entre esses dois inconvenientes, o que dependerá do caso a estudar (MENESES, 2001). CARDOSO (1998) argumenta que as amostras usadas em estudos de locais críticos em diversos países correspondem a períodos que variam de um a cinco anos.

Os métodos mais usados pressupõem que os acidentes, apesar da ampla distribuição espacial, tendem a se concentrar em alguns locais da malha viária. A maioria destes métodos baseia-se em dados de acidentes ocorridos (métodos *a posteriori*: numéricos e estatísticos), enquanto que os outros se fundamentam na previsão de ocorrência dos eventos (métodos *a priori*). Estes últimos identificam e classificam os locais problemáticos por meio de métodos de observação de conflitos de tráfego ou de outros indicadores que expressem o risco de ocorrência de acidentes.

Dentre os métodos *a posteriori*, os métodos numéricos são os mais simples e identificam como locais críticos aqueles com índices acima de determinado valor. O uso desses métodos justifica-se em situações nas quais o acesso a dados confiáveis para a estimação das medidas de exposição seja difícil (CARDOSO, 1998). Um problema destes métodos é o fenômeno estatístico de regressão à média, ao analisar longos períodos de observações, que ocorre quando períodos com índices absolutos excessivamente elevados ou reduzidos de acidentes são seguidos por períodos com índices absolutos de acidentes mais próximos à média da população (HAUER, 1996).

Os métodos numéricos são os mais aplicados no Brasil por que são fáceis de calcular e por requererem baixos investimentos em relação aos métodos estatísticos e *a priori* (MT, 2002). Por este motivo, são citados a seguir somente os índices relacionados aos métodos numéricos.

2.5. ÍNDICES DE ACIDENTES DE TRÂNSITO

Os índices de acidentes de trânsito são usados para identificar locais críticos do sistema viário e depois possibilitar uma investigação dos fatores contribuintes dos acidentes em cada local crítico (BAGINSKI, 1995). Segundo o DENATRAN (2003b), estes índices possibilitam avaliar o desempenho do município em relação ao estado a

que pertencem e também em relação aos demais municípios. Em outras palavras, estes índices estão sendo usados para comparar a situação da segurança de tráfego entre locais (cidades, estados ou países) e para identificar os locais críticos na malha viária. BEATO (2002), estudando o problema de segurança pública, criticou o uso do banco de dados apenas para o cálculo de índices e questiona se uma análise mais abrangente está sendo descartada em favor da elaboração de relatórios de pouca serventia.

Os índices também podem ser aplicados conforme o local em análise, como por exemplo, em trechos e interseções. Isto desconsidera que, na maioria dos casos, a descrição do local do acidente em áreas urbanas não é exata o bastante para se garantir tal distinção. Além disto, alguns pesquisadores definem um acidente em interseção considerando uma área abrangente a 30, 60 ou 150 metros do intercepto das ruas, dificultando a definição do local de ocorrência do acidente (CROMMELIN, 1994 e HANCHEY *et al.*, 2000). BRETHERTON (1994), entretanto, definiu que um acidente pertenceria à interseção se a sua causa estivesse relacionada à interseção. Um exemplo de um acidente em interseção é a colisão traseira ocorrendo a 300 metros da interseção, devido à fila de carros ao longo da interseção. Um exemplo de um acidente em trecho é uma colisão lateral em uma rodovia a 15 metros da interseção. Por isto, este mesmo autor define o local de ocorrência do acidente formulando a seguinte pergunta: se a interseção não tivesse lá, o acidente teria ocorrido?

A próxima seção apresenta os principais índices de acidentes usados no ambiente urbano, os quais se encontram subdivididos em absolutos e relativos (taxas).

2.5.1. Índices absolutos

O índice absoluto considera apenas uma variável para estabelecer o seu valor, podendo estratificar esta variável em classes, atribuindo pesos para cada classe de estratificação.

Os dois índices absolutos mais usados no Brasil são o índice de frequência e o de severidade do acidente. O primeiro define como local crítico aquele com índice de frequência superior à média aritmética dos índices registrados em cada um dos locais em análise, em um determinado período de tempo. O MT (2002) apresenta a praticidade e o baixo custo como vantagem deste índice, e como desvantagem cita o seu direcionamento para locais com elevados volumes de tráfego. Estes locais apresentam

dificuldades para a proposição de soluções realistas (INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS - ITE, 1997).

O índice de severidade do acidente, medido em Unidade Padrão de Severidade (UPS), é o resultado da soma dos produtos da frequência de cada tipo de severidade do acidente pelo peso atribuído à respectiva severidade. Deve-se lembrar que não importa a quantidade de vítimas em cada acidente e sim o tipo de ocorrência. São considerados locais críticos aqueles com valores superiores à média estabelecida para o programa. Este índice possui como vantagens a praticidade, o baixo custo e o fato de priorizar acidentes cujos resultados foram mais severos em termos de vítimas. Como desvantagem, ele direciona para locais com muitos acidentes e elevados volumes de tráfego (MT, 2002). Estes índices introduzem um julgamento arbitrário ao alocar pesos sem critérios, não devendo ser usados como único meio para identificar locais críticos (ITE, 1997).

2.5.2. Índices relativos

Os índices relativos foram elaborados porque os índices absolutos não relacionam os acidentes a alguns de seus fatores causadores, denominados de variáveis de base (MCSHANE e ROESS, 1990). São definidos como a razão entre um índice absoluto e um outro parâmetro referente ao mesmo local e intervalo de tempo. As taxas são calculadas pela seguinte equação:

$$TA = (T * E) / V \quad (2.1)$$

em que:

TA: taxa de acidentes;

T: quantidade do tipo de acidente em determinado período;

E: escala ou potências de 10; e,

V: valor da variável de base em determinado período.

Estes índices devem ser multiplicados por potências de 10 para que eles possuam pelo menos um dígito significativo, facilitando a compreensão por parte do usuário. As variáveis de base podem ser subdivididas em duas categorias: baseada em população e baseadas em medidas de exposição.

Os valores baseados em população servem para quantificar e comparar o risco de envolvimento em acidentes para um indivíduo, destacando-se as variáveis população (habitantes), veículos licenciados e motoristas licenciados em uma determinada área. Estes índices podem ser usados para comparar locais que representam pontos e áreas, sendo mais comum para áreas. O DENATRAN (2003b) relaciona vários destes índices citando suas equações e exemplos comparativos.

Os parâmetros baseados em exposição mensuram a exposição do indivíduo ao risco de acidentes, destacando-se o volume de tráfego, a quantidade de quilômetros percorridos por veículos e a quantidade de horas de viagem de veículos. Os dois últimos índices acima citados são difíceis de serem coletados e são mais usados para comparar valores de área. Segundo CARDOSO (1998), atualmente não existe um consenso sobre a melhor medida de exposição do ponto de vista prático, mas FRAMARIM *et al.* (2002) citam que o volume de tráfego é o que tem sido mais usado.

A determinação das medidas de exposição ao tráfego em zonas urbanas é bastante difícil. A extensão e a segmentação da rede viária dificultam o conhecimento dos volumes de veículos nesses locais, nas diversas horas do dia (CARDOSO, 1998). Como exemplo, FRAMARIM *et al.* (2002) citam que apenas 21,4% das interseções semaforizadas de Porto Alegre dispunham de contagens volumétricas até o ano de 2000. Deve-se lembrar que algumas cidades brasileiras já utilizam contadores automáticos de volume de tráfego, como os laços detetores que se encontram disponíveis nos controle semafóricos centralizados em tempo real e nos radares eletrônicos, para a obtenção destas medidas de exposição.

Um dos índices relativos mais aplicados é a taxa de acidentes, cuja medida de exposição é o volume de tráfego. São considerados locais críticos aqueles locais cujos índices são superiores à média dos índices de todos os locais, ou então, a um índice preestabelecido pelo órgão gestor. A vantagem deste índice é a neutralização da influência do volume, pois locais com elevados volumes de tráfego tendem a possuir maior frequência de acidentes. Sua desvantagem está relacionada aos elevados custos das pesquisas de volume de tráfego (MT, 2002).

Outro índice relativo usado é a taxa de severidade do acidente que se assemelha à taxa de acidentes, considerando, porém, a Unidade Padrão de Severidade (UPS). Sua

desvantagem está no custo para a determinação dos volumes de tráfego e a vantagem em relação ao índice da taxa de acidentes, encontra-se em considerar a severidade do acidente (MT, 2002).

Estes índices podem ser estratificados segundo algumas linhas de atuação. As linhas de atuação consistem em formas de se aplicar os índices de acidentes, seguindo alguns critérios espaciais (locais críticos e áreas críticas) ou descritivos das características dos acidentes (solução típica, acidente típico e tipo de usuário). As características de cada uma destas linhas são citadas a seguir.

a) Local Crítico

Local crítico é aquele pertencente à malha viária que apresenta índices de acidentes iguais ou superiores a um critério estabelecido, independente do tipo de acidente, de usuário ou da solução a ser adotada (MT, 2002). CET (1997) cita que esta linha de atuação ou é fruto de pressão da mídia, que com frequência veicula casos de acidentes em suas programações, ou de grupos comunitários.

b) Área Crítica

Usada quando uma proporção significativa dos acidentes está muito dispersa não sendo adequada qualquer das outras linhas de atuação. É aplicada a áreas urbanas e consiste em identificar áreas discretas, que tenham índices de acidentes por unidade de área ou por unidade de população acima de um nível pré-determinado. MT (2002) observa que há uma concentração de acidentes em certas áreas urbanas onde, predominantemente, localiza-se a maior parte das atividades de comércio e serviço. Como exemplo, a CET (2000) cita que 17% dos atropelamentos em São Paulo, nos anos 80, ocorreram na área central que ocupa menos de 1% da área total do município.

A dificuldade desta linha de atuação consiste em contabilizar a quantidade de acidentes por unidade de área usando um banco de dados manual; a não ser que ele contenha informação do endereço do bairro cujo cadastro nem sempre é confiável, pois poucos agentes de trânsito sabem precisamente o bairro em que ele está registrando o acidente. Como solução para identificação do bairro, sugere-se a coleta do CEP da rua em que ocorreu o acidente ou então o uso de aparelhos de Sistema de Posicionamento Global (SPG).

c) Acidente Típico

Envolve a identificação de locais que possuam um índice por tipo de acidente (atropelamento, colisão, *etc.*) para aplicar soluções já conhecidas e testadas, proporcionando uma elevada redução de acidentes (CET, 1977).

d) Solução Típica

Consiste em selecionar locais em que uma determinada solução proporcione uma significativa redução nos índices de acidentes. Como exemplo, tem-se a aplicação de piso rugoso em locais susceptíveis a derrapagens e a colocação de iluminação em locais com altas taxas de acidente noturno. MITIC *et al.* (1999) citam que esta linha reverte o problema tradicional de associar problemas a soluções para primeiro identificar tipos de colisões que possam ser solucionados por medidas específicas e depois selecionar locais que tenham índices significativos destes tipos de colisões.

e) Tipo de usuário

A adoção desta linha está associada a políticas públicas em favor da segurança de um tipo de usuário, como ciclistas e pedestres, que estejam envolvidos em elevada ocorrência de acidentes (MT, 2002).

A próxima seção exemplifica a aplicação dos índices de acidentes, apresentando a metodologia do Programa Pare para identificação dos locais críticos de acidentes que utiliza a linha de atuação do local crítico.

2.6. METODOLOGIA DO PROGRAMA PARE PARA IDENTIFICAÇÃO DOS LOCAIS CRÍTICOS

Existem várias metodologias nacionais para identificação de locais críticos, destacando-se a metodologia do Programa Pare, desenvolvida pelo Ministério dos Transportes (MT, 2002). Esta metodologia apresenta a vantagem de adaptação à realidade dos municípios brasileiros porque tanto pode ser aplicada para locais que possuem banco de dados manual como também para locais com banco de dados informatizado. Apresenta-se a seguir as principais etapas desta metodologia:

- a) Definir o período de estudo;
- b) Identificar os locais onde ocorreram acidentes neste período, separando interseções de trechos, calculando, logo após, o índice de frequência de acidentes para cada local;
- c) Excluir locais cujo índice de frequência de acidentes seja menor que três, exceto aqueles locais com registro de pelo menos um óbito;
- d) Da lista de locais que atenderam aos procedimentos anteriores, elaborar outra lista contendo uma quantidade duas vezes superior à quantidade que se pretende tratar, segundo ordem crescente do índice de frequência;
- e) Selecionados os locais, calcular o índice de severidade de cada local;
- f) Calcular a média do índice de severidade para estes locais;
- g) Considerar como locais críticos aqueles que tiverem índice de severidade igual ou superior à média deste índice;
- h) Caso o município disponha de contagens volumétricas para todos os locais selecionados, calcular o índice da taxa de severidade; e,
- i) Considerar como locais críticos aqueles que tiverem índice da taxa de severidade igual ou superior à média deste índice.

Observa-se que esta metodologia aplica vários índices sequencialmente para identificar locais críticos na malha viária, tendo o índice da taxa de severidade como o critério decisivo devido ao fato de considerar tanto a severidade do acidente como também a influência do volume de tráfego em seus cálculos.

Algumas etapas desta metodologia carecem de um maior detalhamento para sua aplicação, como demonstrado nos itens a seguir:

- Etapa b): A classificação do local de ocorrência de um acidente em trecho ou interseção é de difícil obtenção para malhas viárias reticuladas, como foi discutido na seção 2.5;
- Etapa c): Não há explicação para a definição de três acidentes como critério de exclusão de locais da lista de locais críticos;

- Etapas f) e h): O uso da média como critério de seleção de locais críticos sem analisar a distribuição estatística dos índices pode ocasionar erros na identificação dos locais críticos. Sugere-se inicialmente analisar a distribuição estatística deste índice para, em seguida, definir a medida estatística mais apropriada para selecionar locais críticos.

Uma etapa que poderia ser implantada nesta metodologia para servir como seleção de locais críticos é a visualização espacial dos locais dos acidentes e a análise do relacionamento destes locais com as características de tráfego da malha viária e de uso do solo lindeiro.

2.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na revisão sobre a etapa de coleta de dados identificou-se que há um longo caminho a ser percorrido no Brasil para coletar uma amostra significativa dos acidentes, porque poucos órgãos têm recursos humanos suficientes para executar esta tarefa. Por este motivo alguns órgãos executivos de trânsito municipais têm usado outros órgãos que também coletam informações sobre acidentes, tais como serviços de emergência e corpos de bombeiros, para complementar os dados sobre um acidente já coletado pelo órgão oficial ou então para fornecer novos dados que não foram coletados. Este procedimento aumenta a quantidade de acidentes coletados, pois nem sempre o órgão responsável é chamado para atender a ocorrência ou está presente em todas as ocorrências. Isto, porém, exige um convênio formal entre estes órgãos para sistematizar o fornecimento de dados e exige também um sistema de armazenamento capaz de verificar se um acidente que foi coletado por outro órgão já está cadastrado, o que serviria para complementá-lo.

Verificou-se também que a maioria destes órgãos não possui um banco de dados de acidentes informatizado e bem estruturado. Dentre as cidades que possuem um banco de dados estruturado, verificou-se que eles são usados principalmente para a elaboração de relatórios que calculam índices de acidentes que auxiliam na identificação de locais críticos e também na comparação entre locais ou comparações com padrões de segurança estabelecidos por órgãos reconhecidos internacionalmente.

A seleção de um índice para aplicação da linha de atuação da área crítica depende do grau de correlação com os acidentes e, no caso dos índices relativos,

depende da facilidade de obtenção dos dados da variável de base. Uma variável que apresenta elevada correlação é o volume de tráfego. Entretanto, o elevado custo de suas pesquisas de levantamento torna o uso desta variável bastante difícil. Isto possibilita a elaboração de novos índices que tenham as seguintes características: baixo custo de aquisição e alto grau de correlação com acidentes de trânsito.

Observou-se que as linhas de atuação possibilitam tratar os acidentes de acordo com as suas características, sejam elas espaciais ou descritivas do acidente. Entretanto, todas estas linhas podem ser melhor aplicadas se observarmos o relacionamento espacial entre os índices de acidentes.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE ESPACIAL E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

“Todas as coisas são parecidas, mas coisas mais próximas se parecem mais que coisas mais distantes.”
Waldo Tobler

3.1. APRESENTAÇÃO

Com o advento do SIG, os fenômenos espaciais, como os acidentes, puderam ser analisados de outras maneiras, destacando-se as aplicações de análise espacial. Dentre estas aplicações na segurança de tráfego nacional, destaca-se o uso das ferramentas de seleção e manipulação da análise espacial, amplamente disponíveis na maioria dos pacotes comerciais de SIG. Tal fato fez com que muitos usuários acreditassem que análise espacial estava limitada a estas aplicações (TEIXEIRA, 2003). Entretanto, a análise espacial possui outras ferramentas que analisam as relações geográficas entre os dados, possibilitando identificar agrupamentos espaciais e tendências de deslocamento espacial, dentre outras aplicações.

A primeira parte deste capítulo objetiva esclarecer o significado da análise espacial, abordando seus conceitos e apresentando os níveis de análise dos dados espaciais. São discutidos também os objetivos e os principais problemas relacionados à análise de padrões pontuais e de dados em área, além de apresentar as principais ferramentas destas duas análises, citando suas finalidades, equações e restrições.

Para analisar corretamente os resultados fornecidos pelas ferramentas de análise espacial exploratória e confirmatória, recomenda-se que uma amostra representativa dos acidentes esteja georeferenciada, sendo necessário integrar estas ferramentas aos pacotes comerciais de SIG. Com este intuito, a segunda parte deste capítulo aborda os conceitos de SIG, discutindo sua utilização pelos órgãos de gerência de trânsito, descrevendo também os procedimentos de georeferenciamento e alguns dos motivos para que os acidentes não sejam georeferenciados. São apresentadas também as formas de integração do SIG com as ferramentas de análise espacial. No final do capítulo, as aplicações das ferramentas de análise espacial na segurança de tráfego, desenvolvidas

pela comunidade acadêmica internacional, são relatadas, discutindo-se qual a situação do Brasil na utilização deste ferramental.

3.2. ANÁLISE ESPACIAL: CONCEITOS E NÍVEIS DE ANÁLISE

A ênfase da análise espacial é mensurar propriedades e relacionamentos dos dados espaciais que, por sua vez, são definidos como quaisquer dados que possam ser caracterizados no espaço, em função de algum sistema de coordenadas (CÂMARA *et al.*, 2000a). Esta análise subdivide-se segundo a sua forma geométrica em: análise de superfícies (geoestatística), análise de redes, análise de padrões pontuais, e análise de dados em áreas.

A geoestatística objetiva inferir uma superfície contínua a partir de uma amostra de um atributo coletado em alguns pontos da área de estudo. Neste intuito, a *krigeagem* é o procedimento de interpolação mais indicado por usar estimadores pontuais ótimos e não tendenciosos (CÂMARA *et al.*, 2000a). A análise de redes é aplicada a entidades lineares conectadas, estando já bastante disseminada na solução de problemas de transporte, tais como as aplicações de roteamento (CHOU, 1996).

Denomina-se padrão pontual qualquer conjunto de dados consistindo de uma série de localizações pontuais que estão associadas a eventos dentro da área de estudo. Suas principais características são: as áreas dos eventos não são uma medida válida; suas localizações não estão associadas a valores, mas apenas a ocorrência dos eventos; e entidades geográficas representadas como pontos no mapa são consideradas de mesma qualidade (CÂMARA e CARVALHO, 2000). Dentre os objetivos da análise de padrões pontuais, destacam-se o estudo de padrões de distribuição no espaço para identificar os fatores que determinam a concentração ou a dispersão espacial e a identificar também os fatores de risco associados a este evento.

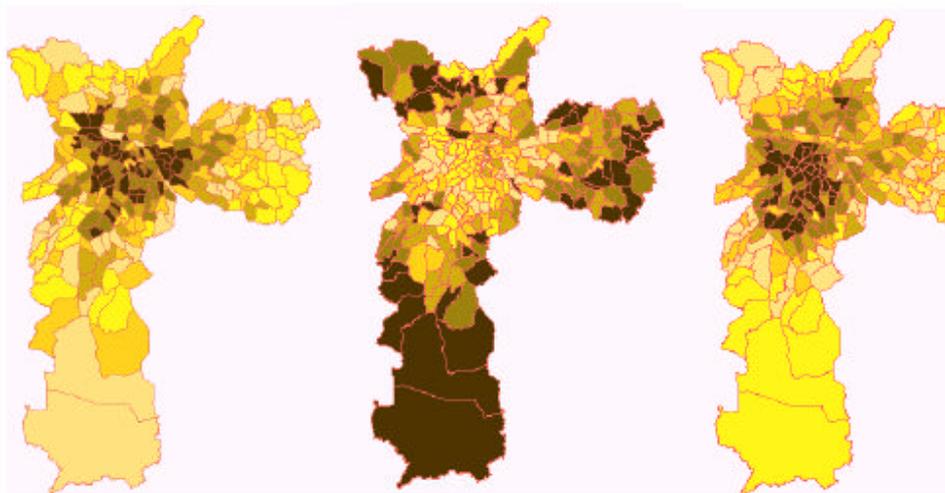
Os objetivos da análise de dados em áreas são identificar a existência de padrões de distribuição espacial, de áreas críticas e de tendências espaciais de crescimento, auxiliando o entendimento da ocorrência de determinado fenômeno. Para isto torna-se necessário agregar os objetos espaciais e seus atributos contidos no espaço total em sub-áreas, tais como setores censitários ou distritos; agregação esta que nem sempre é feita de forma criteriosa (CÂMARA *et al.*, 2000a).

A agregação de dados pontuais em áreas ocasiona vários problemas destacando-se o Problema da Unidade de Área Modificável (PUAM) que é composto dos efeitos de escala e de zoneamento (CAMARA *et al.*, 2000a). O efeito de escala é a tendência, dentro de um sistema de unidades de áreas modificáveis, de se obter diferentes resultados estatísticos para um mesmo conjunto de dados quando a informação é agrupada em diferentes níveis de resolução espacial, como setores censitários e distritos. O efeito de zoneamento é a variabilidade dos resultados estatísticos obtida dentro de um conjunto de unidades de áreas modificáveis em função das várias possibilidades de agrupamentos em uma dada escala, e não em função da variação do tamanho dessas áreas; isto é, a diferença nos resultados é gerada devido a simples alteração das fronteiras. Vale ressaltar que este problema nunca poderá ser removido, pois está associado a divisões territoriais, e o que se pode fazer ao usar estas ferramentas é minimizar o seu efeito. Como exemplo, MARTIN (2001), *apud* RAMOS (2002), cita que o Censo do ano 2000 do Reino Unido já permite o acesso a dados em suportes territoriais gerados interativamente de acordo com a finalidade do estudo, processo denominado *Output Areas (OAs)*, que são subdivisões territoriais elaboradas segundo critérios de forma, homogeneidade e tamanho da população.

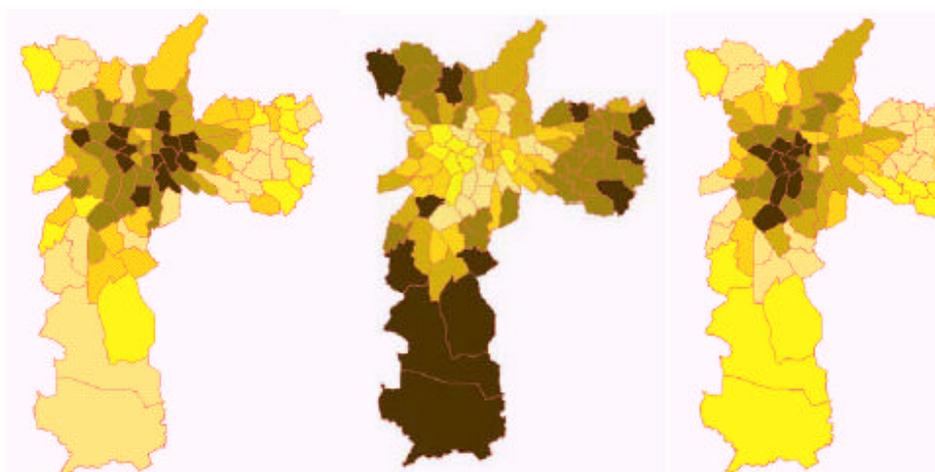
RAMOS (2002) exemplifica o efeito de escala ao elaborar mapas temáticos de três variáveis usando as 270 zonas de análise de tráfego, definidas para a pesquisa de origem/destino de 1997, e os 96 distritos municipais de São Paulo. As variáveis usadas foram: população > 60 anos / população total (variável A); total de habitantes não alfabetizados / população total (variável B) e renda individual *per capita* (variável C). Uma significativa perda de informação pode ser notada na Figura 3.1 quando se agregam as zonas em unidades de área maiores (distritos), considerando o mesmo intervalo de classes para os dois formatos de áreas. As zonas pertencentes ao maior intervalo de classe, quando subdividida em distritos, passam a pertencer a intervalos de classes menores.

Para exemplificar o outro efeito, este mesmo autor elaborou um novo zoneamento, usando critério de homogeneidade intra-zonal, para igualar a quantidade de distritos. Pode-se visualizar este efeito ao analisar a matriz de correlação na Tabela 3.1, na qual percebe-se que houve uma redução nas correlações entre todas as variáveis no nível de zonas, quando comparadas com as correlações medidas em nível de distritos.

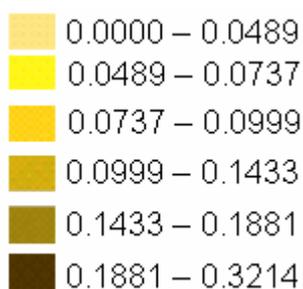
270 zonas OD/1997 do município de São Paulo



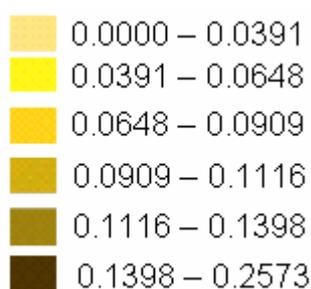
96 distritos do município de São Paulo



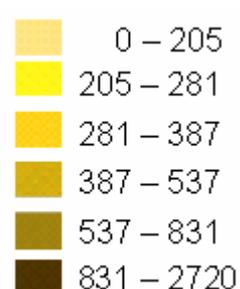
Variável A



Variável B



Variável C

**Figura 3.1:** Visualização do efeito de escala na cidade de São Paulo (RAMOS, 2002).**Tabela 3.1:** Matrizes de correlação p/ as variáveis agrupadas em distritos e em zonas.

Distritos			
	A	B	C
A	1,00	-0,81	0,65
B	-0,81	1,00	-0,78
C	0,65	-0,78	1,00

Zonas			
	A	B	C
A	1,00	-0,52	0,57
B	-0,52	1,00	-0,72
C	0,57	-0,72	1,00

Fonte: RAMOS (2002).

ASSUNÇÃO (2001) também cita alguns casos de pequenas áreas em que se calculam taxas sobre um universo populacional reduzido, o qual pode ser solucionado com o uso de estimadores bayesianos. CÂMARA *et al.* (2000b) citam também o problema da falácia ecológica que envolve a inferência inadequada de relações em nível de indivíduo, a partir de resultados obtidos em nível de áreas. Devido aos efeitos oriundos do PUAM, as relações medidas em nível de unidades de áreas a partir de coeficientes de correlação tendem, em geral, a apresentar valores absolutos maiores que as correlações desconhecidas em nível de indivíduos. Estes mesmos autores ressaltam que nenhuma das medidas está certa ou errada, elas apenas representam diferentes formas de análise.

CÂMARA *et al.* (2000b) citam também o problema das áreas sem homogeneidade, que ocorre em países com diferenças sociais significativas, em que a agregação de grupos sociais distintos, como favelas e áreas nobres, numa mesma região é bastante comum. Neste caso, usar um atributo com valor médio não representa verdadeiramente os valores nela contidos.

Algumas análises podem ser realizadas usando dados contínuos ou discretos. A decisão sobre qual deles usar dependerá do tipo de problema vinculado aos dados. A análise de superfícies se mostra superior à análise por áreas nos casos em que o problema da descontinuidade nas fronteiras se mostre significativo. Entretanto, para regiões com características homogêneas, a análise agregada em áreas é mais simples e requer menor esforço computacional e capacitação técnica de recursos humanos (CÂMARA *et al.*, 2000b). Em outras palavras, esta decisão está relacionada ao grau de homogeneidade da variável sobre a região de estudo.

3.3. FERRAMENTAS DE ANÁLISE ESPACIAL

ANSELIN (1992) propôs uma subdivisão das ferramentas de análise espacial em quatro grupos: seleção, manipulação, análise exploratória e análise confirmatória. As ferramentas de seleção consistem de estatísticas simples, métodos gráficos e numéricos para sumarizar dados (histogramas, diagramas de dispersão, estatística descritiva) e também envolvem processos de consultas a bancos de dados geográficos e a apresentação destes em mapas temáticos. As ferramentas de manipulação permitem criar novos dados espaciais usando propriedades e relacionamentos entre entidades

espaciais, destacando-se as funções de agregação de dados espaciais e a geração e análise de áreas de influências.

As ferramentas de análise exploratória têm como objetivo visualizar e descrever distribuições espaciais, identificar padrões de associação espacial e observações atípicas (valores extremos). Como exemplo destas ferramentas destacam-se as funções de vizinhos mais próximos, de autocorrelação espacial e os estimadores de Kernel. Essas ferramentas são essenciais ao desenvolvimento da análise confirmatória que, em geral, é sensível ao tipo de distribuição, à presença de valores extremos e à ausência de estacionariedade. Dentre as várias técnicas desta análise, destacam-se as modelagens espaciais lineares, as técnicas multivariadas e a econometria espacial.

3.4. ESTATÍSTICA ESPACIAL

As ferramentas de análise exploratória e confirmatória são o objeto de estudo da estatística espacial. WISE *et al.* (1991) citam que a estatística espacial consiste no emprego de ferramentas analíticas de dados estatísticos relacionados a eventos geográficos para auxiliar o entendimento, o controle, a descrição ou a predição de dados espaciais. O objetivo principal é caracterizar padrões espaciais e possíveis associações espaciais entre os dados. ANSELIN (1992) cita que estes padrões espaciais causam problemas de mensuração, conhecidos como efeitos espaciais, tais como dependência espacial e heterogeneidade espacial, que afetam a validade dos métodos estatísticos tradicionais, os quais pressupõem a independência entre os eventos observados. Como exemplo, NIJ (2002) cita que os coeficientes de regressão estimados pelo método dos mínimos quadrados são enviesados porque áreas de alta concentração de dados possuem um maior impacto na estimativa do modelo. TEIXEIRA (2003) cita que a estatística espacial ainda é pouco difundida e usada com maior rigor na comunidade acadêmica nacional de transportes.

BAILEY (1994), destacando o grande potencial de contribuição do SIG como plataforma de aplicação da estatística espacial, agrupou estas técnicas desta maneira:

- *Análise descritiva simples, transformação e caracterização de dados:* aplicações de métodos estatísticos, numéricos e gráficos, para manipular

e caracterizar conjuntos de dados, incluindo histogramas, diagramas de dispersão, entre outros;

- *Métodos do vizinho mais próximo e funções K*: comparam graficamente os padrões de distribuição espacial dos eventos (pontos) observados com aqueles esperados a partir das funções de probabilidade conhecidas, determinando a relação entre cada evento e aqueles mais próximos a ele, ou entre todos os eventos considerados;
- *Métodos de suavização Kernel e bayesianos*: são técnicas não-paramétricas para eliminar a variabilidade em conjuntos de dados, mantendo as características espaciais essenciais;
- *Autocorrelação espacial e estrutura de covariância*: buscam descrever como e quanto são semelhantes os atributos dos pontos posicionados geograficamente próximos;
- *Modelagem econométrica espacial*: permitem que a variação espacial seja explicada por um conjunto de variáveis independentes, como na regressão linear tradicional, considerando, porém, uma ponderação da autocorrelação espacial destas variáveis, que busca quantificar as diferenças de variação em cada direção possível, ou no aspecto temporal. Incluem-se neste grupo também as técnicas de krigagem e co-krigagem, que ponderam a regressão simples em função da análise do variograma da amostra;
- *Modelagem espacial linear*: extensão das técnicas de regressão espacial citadas acima, aplicadas a variáveis categóricas;
- *Técnicas multivariadas*: incorporam o caráter espacial na modelagem de múltiplas variáveis dependentes.

Nas próximas seções vários conceitos importantes da estatística espacial são discutidos, contribuindo para a compreensão de outros conceitos básicos citados nos capítulos posteriores.

3.4.1. Estacionariedade e Isotropia

Estes conceitos estatísticos definem a estrutura espacial dos dados, relacionando-os aos efeitos de primeira e segunda ordem. Enquanto o efeito de primeira ordem relaciona-se à média do processo no espaço, o de segunda ordem relaciona-se com a covariância entre as áreas s_i e s_j , visando identificar a dependência espacial do processo.

A estrutura espacial é considerada estacionária se estes dois efeitos forem constantes em toda a região estudada, ou seja, se eles apresentarem um comportamento homogêneo na região de estudo (CÂMARA *et al.*, 2000a). BIVAND (1998) classifica uma série como estacionária se ela possui uma média constante e seus valores flutuam sobre esta média com uma variância constante.

A estrutura espacial é considerada isotrópica se, além de estacionária, a covariância depender somente da distância entre os pontos e não da direção entre eles, caso contrário, se o processo também depender da direção entre eles, diz-se que o processo é anisotrópico (BIVAND, 1998; CÂMARA *et al.*, 2000a). A maior parte das técnicas de análise de distribuição de pontos supõe um comportamento isotrópico.

3.4.2. Estatísticas globais x estatísticas locais

As estatísticas globais e locais objetivam caracterizar a distribuição relativa dos eventos observados no espaço, ou seja, o arranjo espacial destes eventos. Esta caracterização objetiva detectar padrões de aglomerados espaciais, verificando se os eventos observados apresentam algum tipo de padrão sistemático, ao invés de estarem distribuídos aleatoriamente. Estas duas estatísticas diferenciam-se pela unidade de análise. Enquanto as estatísticas globais consideram todas as observações, as estatísticas locais consideram apenas os eventos que ocorrem até uma distância considerada significativa, conforme o critério usado.

As estatísticas globais indicam o padrão espacial por meio de um único valor, indicando a associação espacial presente em todo o conjunto de dados. Um dos problemas desta estatística aparece quando a área de estudo está muito subdividida, sendo muito provável que ocorram diferentes regimes de associação espacial e que apareçam locais em que a dependência espacial é ainda mais pronunciada (CÂMARA *et al.* 2000b). Com este intuito, foram desenvolvidas as estatísticas locais para quantificar o grau de associação espacial a que cada localização do conjunto amostral está

submetida em função de um modelo de vizinhança pré-estabelecido. ANSELIN (1992) demonstra que estas estatísticas permitem a decomposição dos indicadores globais em contribuições individuais, indicando porções territoriais de não estacionariedade e identificando aglomerados (*clusters*) significativos de valores semelhantes em torno de determinadas localizações.

3.4.3. Autocorrelação

Na análise de regressão da estatística tradicional, denomina-se correlação o grau de influência que uma variável tem sobre outra, com o intuito de identificar quanto o valor apresentado por uma variável dita independente influencia no valor de uma outra variável, considerada dependente. Se a concentração da variável dependente aumenta quando aumenta a concentração da independente, denota-se aí uma correlação positiva. Se a concentração da primeira diminui com o aumento da segunda, denota-se uma correlação negativa. Se não existir uma relação quantificável, diz-se que as variáveis são não-correlatas, ou independentes.

Na estatística espacial, a correlação pode ser entendida como a tendência a que o valor de uma ou mais variáveis associadas a uma determinada localização assemelhe-se mais aos valores de suas observações vizinhas do que ao restante das localizações do conjunto amostral. Ela também pode ser denominada autocorrelação, quando medir o grau de influência que uma dada variável tem sobre si mesma. Se a ocorrência de um dado evento influencia para que outros semelhantes aconteçam ao seu redor, tem-se autocorrelação positiva, ou atração, o que implica em uma distribuição aglomerada de eventos. Se a ocorrência deste mesmo evento dificulta ou impede a ocorrência de outros em seu entorno, tem-se autocorrelação negativa, ou repulsão, resultando em uma distribuição aproximadamente equidistante dos eventos.

3.4.4. Índices de autocorrelação

Os índices de autocorrelação calculam o valor de um indicador comparando o valor observado em cada localização com os valores nas localizações vizinhas. ANSELIN (1992) cita que estes índices são medidas de similaridade entre associações em valor (covariância, correlação ou diferença) e associações no espaço (contigüidade). Na próxima seção são apresentados os principais índices de autocorrelação, sendo necessário citar primeiramente o significado de matriz de adjacência.

3.4.5. Matriz de Adjacência

A matriz de adjacência, conhecida também como matriz de proximidade espacial W , é usada para representar como a vizinhança influencia cada observação. Dado um conjunto de n áreas $\{A_1, \dots, A_n\}$, elabora-se a matriz W ($n \times n$), em que cada um de seus elementos (w_{ij}) representa uma relação topológica entre A_i e A_j , selecionada por um critério. A seleção deste critério é importante, pois influencia diretamente o cálculo das estatísticas. O critério mais usado define vizinhança a partir da propriedade topológica de contigüidade; assim W é uma matriz binária (0,1), onde 1 está associado às zonas com fronteiras em comum e 0 àquelas sem esta propriedade. Como a matriz W é usada em cálculos de indicadores de análise exploratória, por conveniência, ela é muitas vezes normalizada por linha, ou seja, com a soma dos ponderadores de cada linha sendo igual a 1. (CÂMARA *et al.* 2000b). Esta matriz pode ser generalizada para vizinhos de maior ordem, considerando os mesmos critérios da matriz de primeira ordem.

3.5. FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE DADOS EM ÁREA

Dentre as ferramentas disponíveis de análise de dados em área, algumas delas foram selecionadas por permitirem uma caracterização espacial sistêmica sobre a ocorrência de determinado fenômeno espacial. Estas ferramentas são apresentadas e discutidas a seguir.

3.5.1. Visualização de dados

A visualização de dados consiste em apresentar a distribuição dos atributos por área usando mapas temáticos, verificando como cada um destes atributos influencia os demais e estimando relações de causa e efeito. TEIXEIRA (2003) cita que, atualmente, a prática corrente de boa parte dos profissionais e empresas da área de transportes é a de se tentar estabelecer estas relações de influência entre os dados disponíveis de forma intuitiva e empírica, baseando-se, na maioria das vezes, apenas na experiência e na opinião do planejador. É a forma mais simples de visualizar valores extremos.

Vários mapas temáticos devem ser feitos, modificando o limite e a quantidade de classes para obter uma visão geral da distribuição dos atributos. Esta variação pode ser feita manualmente ou usando as ferramentas de geração de mapas disponíveis nos pacotes computacionais de SIG, que oferecem diversas opções de mapas temáticos. Deve-se observar também que os diferentes tipos de mapas gerados induzem a

visualização de diferentes aspectos, tendo cada um características específicas. Por exemplo, o uso de mapas com intervalos de classes iguais para distribuições muito concentradas em um lado da curva apresenta a maior parte das áreas alocada a uma ou duas classes. Outro exemplo é o mapa gerado cujos polígonos são alocados em quantidades iguais para cada classe, denominado de percentual, que dificulta a identificação de áreas críticas. No caso dos mapas gerados em que os intervalos de classes são divididos conforme o desvio padrão, a distribuição da variável em graduação de cores diferentes é realizada para valores acima e abaixo da média. Este tipo de mapa tem a deficiência de subdividir o intervalo de valores em muitas classes para apresentar as classes muito distantes da média quando a distribuição é assimétrica. O uso de qualquer tipo de mapa gerado deve ser precedido pela definição do objetivo que se quer apresentar nos mapas temáticos (CÂMARA *et al.*, 2000b).

3.5.2. Média espacial móvel

A média móvel objetiva identificar padrões e tendências espaciais, produzindo uma superfície menos descontínua (mais suave) que os dados originais, ou seja, se uma área tem atributo reduzido/elevado e os seus vizinhos tem atributos elevados/reduzidos, ela tenderá a elevar/reduzir o valor desta área. Esta medida também pode apresentar indicações de locais de transição entre regimes espaciais. Considerando a matriz de proximidade espacial W , a estimativa desta média pode ser expressa como:

$$m_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} z_i}{\sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (3.1)$$

em que:

z_i : diferença entre o valor do atributo no local i e a média de todos os atributos;

w_{ij} : pesos atribuídos conforme a relação topológica entre os locais i e j .

A Figura 3.2 apresenta a visualização da média móvel para as taxas de desflorestamento em 1991/1992, destacando a acentuada atividade na região da fronteira da Amazônia Legal, e também as regiões de não-floresta, com suas taxas de

desflorestamento abaixo da média, correspondendo ao leste de Tocantins e norte do Maranhão (KAMPEL *et. al.*, 2000).

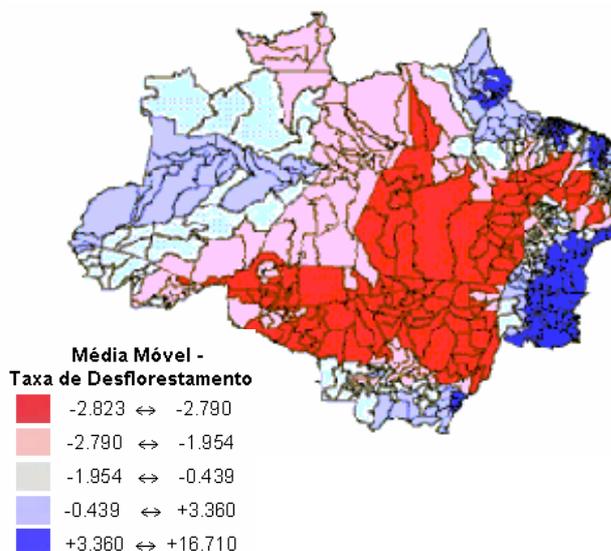


Figura 3.2: Média móvel das taxas de desflorestamento (KAMPEL *et. al.*, 2000).

3.5.3. Diagrama de espalhamento de Moran

Proposto por ANSELIN (1992), o Diagrama de Espalhamento de Moran consiste em comparar os valores normalizados do atributo numa área com a média dos valores normalizados dos seus vizinhos, construindo um gráfico bidimensional de Z (valores normalizados) por WZ (média dos vizinhos). É uma maneira adicional de visualizar a dependência espacial e indicar os diferentes regimes espaciais presentes nos dados. O diagrama é dividido em quatro quadrantes (Figura 3.3) com o objetivo de indicar pontos de associação espacial positiva, caracterizando que um local possui vizinhos com valores semelhantes (Q1: valores positivos, médias positivas; e Q2: valores negativos, médias negativas) e de indicar pontos de associação espacial negativa, no sentido de que um local possui vizinhos com valores distintos (Q3: valores positivos, médias negativas; e Q4: valores negativos, médias positivas).

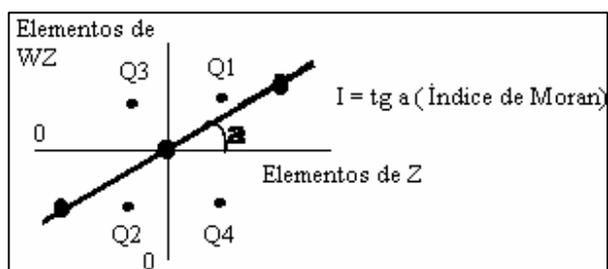


Figura 3.3: Gráfico do Diagrama de Espalhamento de Moran (CÂMARA *et al.*, 2000b)

Uma maneira de identificar valores extremos (valores que não seguem o mesmo processo de dependência espacial que a maioria das outras observações) é localizar pontos no diagrama de Moran que são extremos em relação à tendência central, refletida pela inclinação da regressão. A outra maneira consiste em localizar os pontos cujos valores estão acima de dois desvios padrões da média. Estes, então, podem ser considerados "bolsões" de não-estacionariedade. A presença de valores extremos, também conhecido como *outliers*, pode ainda significar problemas com a especificação da matriz de proximidade ou com a escala espacial de observação dos dados. Eles também podem indicar regiões de transição entre regimes espaciais distintos, os quais geralmente pertencem aos quadrantes Q3 e Q4. O diagrama de espalhamento também pode ser representado em um mapa temático, conhecido como *Box Map*, em que cada polígono é representado por uma cor de acordo com o valor do seu quadrante.

A Figura 3.4 apresenta uma aplicação do *Box Map*, usando o índice de exclusão/inclusão social da cidade de São Paulo, no qual pode-se notar uma forte polarização do centro para a periferia, observando-se que os distritos localizados nos quadrantes Q3 e Q4 (indicados pela cor azul) podem ser entendidos como regiões de transição entre o centro da cidade (que tende a apresentar valores positivos do índice de exclusão/inclusão social) e as duas grandes periferias de São Paulo (zona Sul e zona Leste).

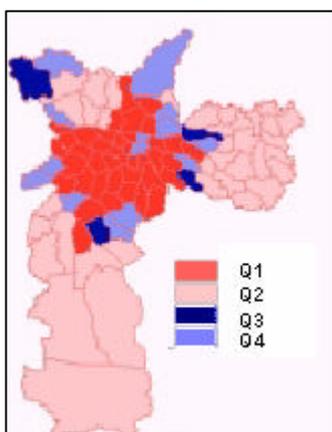


Figura 3.4: *Box Map* do índice de exclusão/inclusão social de São Paulo (CÂMARA *et al.*, 2001).

3.5.4. Estatísticas de autocorrelação espacial global

As estatísticas de autocorrelação espacial global possuem como objetivo caracterizar a dependência espacial mostrando como os valores estão correlacionados no

espaço. O índice global de Moran (I) é um dos indicadores que realizam esta função, sendo calculado pela seguinte expressão:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (3.2)$$

em que:

n : quantidade de áreas;

z_i : diferença entre o valor do atributo no local i e a média de todos os atributos;

z_j : diferença entre o valor do atributo dos vizinhos do local i e a média de todos os atributos;

w_{ij} : pesos atribuídos conforme a relação topológica entre os locais i e j .

O índice global de Moran compara a distribuição observada do atributo em relação a distribuição esperada num padrão aleatório. A hipótese nula é a de completa aleatoriedade espacial, quando o atributo se distribui ao acaso entre as áreas, sem relação com a posição. De uma forma geral, embora isto não seja estritamente verdadeiro, este índice tende a ter valores entre -1 e +1, quantificando o grau de autocorrelação existente, sendo positivo para correlação direta, negativo quando inversa (CARVALHO, 1997).

Um dos aspectos relevantes do índice de Moran é estabelecer sua validade estatística, ou seja, verificar se valores medidos apresentam correlação espacial significativa. Para isto, torna-se necessário associar uma distribuição estatística ao índice, destacando-se as duas abordagens descritas a seguir.

- Normal Padrão: considera a variável em questão como tendo distribuição normal padrão, com média igual a zero e variância igual a um. A significância da estatística é obtida por comparação direta do valor computado de Z com a sua probabilidade numa tabela normal padrão.
- Técnica de permutação: obtém a significância empírica a partir de uma distribuição gerada I pela repetida substituição aleatória dos n valores

pertencentes ao conjunto amostral nas i -ésimas localizações e calculando-se novos resultados para cada novo arranjo. Assim, tem-se a possibilidade de comparação do resultado obtido sob arranjo espacial original e os n resultados obtidos nos arranjos gerados aleatoriamente. Se o valor do índice I efetivamente medido corresponder a um “extremo” da distribuição simulada, então se trata de evento com significância estatística. (ANSELIN, 1992; CÂMARA et al. 2000b).

Um valor de I positivo e significativo para o índice de Moran indica correlação espacial positiva, ou seja, valores altos ou baixos estão mais agregados geograficamente do que estariam simplesmente pelo acaso. Por outro lado, um valor de I negativo e significativo indica correlação espacial negativa, ou seja, agregação destes valores está muito semelhante a uma distribuição aleatória.

O índice de Geary (C) difere do índice de Moran por usar a diferença entre os pares, enquanto que Moran usa a diferença entre cada ponto e a média global, sendo calculado pela seguinte equação:

$$C = \frac{(n-1) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - y_j)^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n y_i^2} \quad (3.3)$$

em que:

n : quantidade de áreas;

y_i : valor do atributo considerado no local i ;

y_j : valor do atributo considerado no local j ;

w_{ij} : pesos atribuídos conforme a relação topológicas entre os locais i e j .

Embora os cálculos de índices globais e locais possam ser realizados por pacotes estatísticos comuns, uma boa parte da análise exploratória fica inviabilizada sem os recursos de visualização de mapas temáticos presentes no SIG (TEIXEIRA, 2003).

3.5.5. Estatísticas de autocorrelação espacial local

Estes indicadores locais produzem um valor específico para cada área, permitindo a identificação de agrupamentos, de valores extremos e a existência de vários regimes espaciais. Os indicadores mais difundidos são o índice local de Moran e as estatísticas G_i e G_i^* que são expressos pelas seguintes equações:

$$I_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (3.4)$$

$$G_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} z_j}{\sum_{j=1}^n z_j} \quad \text{para } j \neq i \quad (3.5)$$

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} z_j}{\sum_{j=1}^n z_j} \quad \text{para qualquer } j \quad (3.6)$$

em que:

z_i : diferença entre o valor do atributo no local i e a média de todos os atributos;

w_{ij} : pesos atribuídos conforme a conexão entre os locais i e j .

As estatísticas acima, apesar de similares, devem ter seus resultados interpretados de maneiras diferentes. No índice local de Moran, a autocorrelação espacial é calculada a partir do produto dos desvios em relação à média, como uma medida de covariância. Dessa forma, valores significativamente altos indicam altas probabilidades de que haja locais de associação espacial, tanto de polígonos com altos valores associados, como com baixos valores associados. Por outro lado, baixos valores apontam para um padrão que pode ser entendido como locais de comportamento mais errático da variável observada entre um polígono e seus vizinhos.

Nas estatísticas G_i e G_i^* , diferentemente do índice de Moran, o cálculo é realizado pela soma simples das observações vizinhas em relação a uma determinada posição i , sendo que no caso do índice G_i , o valor da localização em estudo i não é incluído na somatória e, no caso do índice G_i^* , sim. Portanto, valores significativamente

altos indicam locais de associação espacial de observações de alto valor, enquanto que valores significativamente baixos indicam agrupamentos de observações de baixos valores (NIJ, 2002).

Um dos aspectos mais importantes e difíceis do uso destas estatísticas diz respeito à sua significância estatística, que usa as mesmas técnicas aplicadas para o índice global de Moran. Uma vez determinada a significância estatística deste índice é útil elaborar um mapa indicando as regiões que apresentam correlação local significativamente diferente do resto dos dados. Estas regiões podem ser vistas como "bolsões" de homogeneidade, no caso regiões de concentração de valores elevados dos atributos e regiões com valores reduzidos dos atributos, separadas por uma região de transição que não indica uma coisa nem outra. Estas áreas possuem dinâmica espacial própria e merecem análise detalhada. Este mapa é chamado de *Lisa Map* e, na sua geração, os valores do índice local de Moran são classificados em quatro grupos: não significantes, com significância de 95% (classe 1), 99% (classe 2) e 99,9% (classe 3).

Outro tipo de mapa que pode ser elaborado é o *Moran Map*, que classifica em quatro grupos somente os objetos para os quais os valores do índice local de Moran foram considerados significantes, conforme o quadrante aos quais pertencem no gráfico de espalhamento de Moran. Os demais objetos ficam classificados como "sem significância".

3.6. FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE PADRÕES PONTUAIS

Existem várias funções de estatística espacial para a caracterização da distribuição de dados espaciais em forma de ponto, que permitem localizar o centro desta distribuição, identificar a existência de padrão espacial, identificar autocorrelação espacial, dentre outros objetivos (CRESSIE, 1993). Com o uso destes recursos, hipóteses que antes eram apenas intuitivas, agora podem ser quantificáveis e podem permitir afirmações espaciais simples, tais como que os acidentes se concentram na região central da cidade (LEVINE *et al.*, 1995). A seguir são descritas algumas destas ferramentas disponibilizadas em vários pacotes matemáticos computacionais

3.6.1. Elipse de desvio padrão

Esta ferramenta fornece a medida de dispersão espacial dos pontos em duas dimensões ao redor do centro da distribuição. Para definir o formato da elipse, é necessário calcular os elementos relacionados a seguir.

O ângulo de rotação do eixo Y é calculado pela seguinte expressão:

$$q = \arctg \frac{\{[(X_i - X)^2 - (Y_i - Y)^2] + \sqrt{[\sum (X_i - X)^2 - \sum (Y_i - Y)^2]^2 + 4[\sum (X_i - X)(Y_i - Y)]^2}\}}{2[\sum (X_i - X)(Y_i - Y)]} \quad (3.7)$$

em que:

X_i : valor da longitude no ponto i ;

Y_i : valor da latitude no ponto i ;

X : valor da longitude média do conjunto de pontos;

Y : valor da latitude média do conjunto de pontos.

Os desvios ao longo do eixo transposto de X e do eixo de transposto de Y são calculados pelas seguintes equações:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [(X_i - X) \cos q - (Y_i - Y) \sin q]^2}{N - 2}} \quad (3.8)$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [(X_i - X) \sin q - (Y_i - Y) \cos q]^2}{N - 2}} \quad (3.9)$$

O eixo X e o eixo Y da elipse são definidos por meio das seguintes equações:

$$Eixo_X = 2 * S_x \quad (3.10)$$

$$Eixo_Y = 2 * S_y \quad (3.11)$$

A área da elipse é calculada usando também os desvios S_x e S_y , por meio da seguinte equação:

$$A = p * S_x * S_y \quad (3.12)$$

Como exemplo de aplicação da elipse de desvio padrão, a Figura 3.5 apresenta os locais de roubo de automóveis, nos meses de junho e julho, em Baltimore. Pode-se observar nesta figura que houve uma mudança no tamanho da área e no sentido de concentração dos roubos de carro neste período, resultado provavelmente da maior quantidade de veículos de turistas em circulação na cidade (NIJ, 2002).

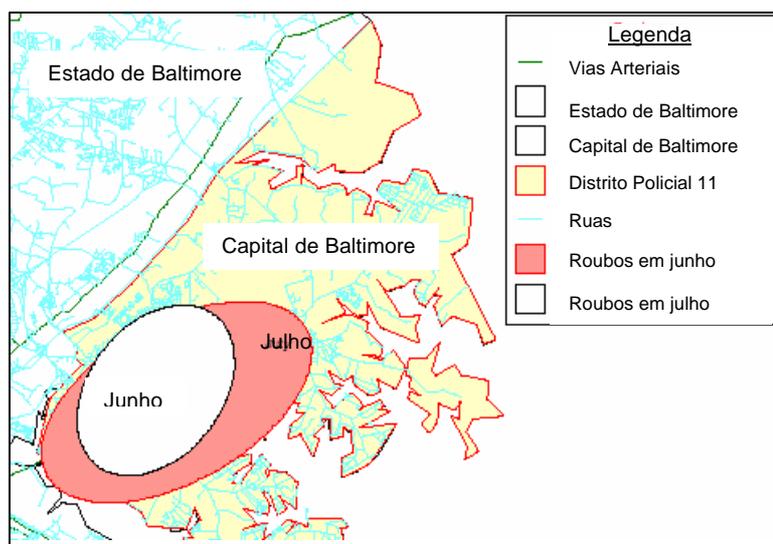


Figura 3.5: Elipses de desvio padrão dos roubos de carro em Baltimore (NIJ, 2002).

3.6.2. Índice do vizinho mais próximo

Trata-se de um método clássico para descrever a distribuição espacial dos eventos pontuais. Foi desenvolvido por ecologistas, porém tem sido usado em várias outras ciências (CRESSIE, 1993). Para cada ponto na distribuição, a distância a cada outro ponto é calculada e a distância mais próxima é selecionada. Calcula-se a média destas distâncias, resultando na distância média do vizinho mais próximo observada, representada pela seguinte equação:

$$D_p = \frac{\sum d_{\min}}{N} \quad (3.13)$$

em que:

D_p : distância média do vizinho mais próximo observada;

d_{\min} : distância mínima de um ponto a outro ponto; e,

N : quantidade de áreas.

Logo depois, a distância média aleatória do vizinho mais próximo é calculada, sendo representada pela seguinte equação:

$$D_a = 0,5\sqrt{A/N} \quad (3.14)$$

em que:

D_a : distância média do vizinho mais próximo aleatória;

A : área da região; e,

N : quantidade de pontos.

O índice do vizinho mais próximo é obtido por meio da comparação entre a distância média do vizinho mais próximo e a distância aleatória média do vizinho mais próximo, representada pela seguinte equação:

$$IVMP = \frac{D_p}{D_a} \quad (3.15)$$

em que:

$IVMP$: índice do vizinho mais próximo;

D_p : distância média do vizinho mais próximo observada;

D_a : distância média do vizinho mais próximo aleatória.

Os resultados deste índice representam o tipo de relacionamento entre os dados espaciais da seguinte maneira (NIJ, 2002; CHOU, 1996; CRESSIE, 1993):

$IVMP < 1 \text{ e } D_p < D_a \Rightarrow$ concentração espacial;

$IVMP > 1 \text{ e } D_p > D_a \Rightarrow$ dispersão espacial; e,

$IVMP @ 1 \text{ e } D_p @ D_a \Rightarrow$ aleatoriedade espacial.

3.6.3. Agrupamentos espaciais

A estatística comum denomina agrupamento como qualquer agregado de eventos resultantes de uma classificação que congrega eventos com características semelhantes. O agrupamento espacial corresponde a qualquer agrupamento de eventos (pontos, linhas e áreas) no espaço, em determinado período de tempo. Embora existam discussões teóricas quanto à definição de agrupamento, o conceito é muito útil para a segurança pública (NIJ, 2002) e, segundo KIM *et al.* (2002), também possui validade para a segurança de tráfego.

Existem na literatura várias técnicas estatísticas que diferem entre si pelos critérios de identificação, sendo que nenhuma delas apresenta superioridade sobre as demais. BAILLEY e GATRELL (1995), conforme GRUBESIC (2002), notam que todas as técnicas começam com o cálculo da matriz n por n de dissimilaridades entre cada par de observações, sendo que é usada uma distância métrica Euclidiana na maioria dos casos. Elas podem ser subdivididas em várias categorias, destacando-se (NIJ, 2002):

- Localizações pontuais: contabilizam a quantidade de pontos ocorrendo em um local, sendo a frequência de pontos a mais conhecida;
- Técnicas de particionamento: dividem os pontos em uma quantidade de agrupamentos especificados pelo usuário, sendo que cada ponto é alocado a um agrupamento somente. Como exemplo, cita-se a função K;
- Técnicas hierárquicas: inicialmente agrupam dois ou mais pontos baseadas em algum critério. Em seguida, geram novos agrupamentos considerando o centro dos agrupamentos iniciais como pontos representativos, e assim sucessivamente. Existem vários critérios de agrupamento, tais como: média das distâncias, mediana das distâncias, vizinhos mais próximos, vizinhos mais distantes, dentre outros;
- Técnicas de variável de risco: identificam agrupamentos em relação a uma variável de risco, como população e emprego. Destaca-se a técnica de agrupamento do vizinho mais próximo com variável de risco.

BAILLEY E GATRELL (1995), *apud* GRUBESIC e MURRAY (2002), citam que a técnica hierárquica usando o critério do vizinho mais próximo é a mais aplicada em problemas de agrupamentos. Esta técnica identifica agrupamentos que são geograficamente próximos, usando dois critérios. O primeiro usa o índice do vizinho mais próximo para definir uma distância limite e compará-la a outras distâncias entre todos os pares de pontos. Somente os pontos que são mais próximos a um ou mais pontos dentro da distância limite são selecionados para os agrupamentos. O outro critério consiste em definir a quantidade mínima de pontos dentro de um agrupamento. Os agrupamentos de 1ª ordem são formados pelos pontos que obedecem a estes dois

critérios, sendo que estes agrupamentos, os quais são geograficamente mais próximos que uma distância limite calculada a partir dos seus centros mínimos, geram os agrupamentos de 2ª ordem. Define-se centro mínimo como o ponto em que a soma das distâncias a todos os outros pontos é mínima. Os agrupamentos de 2ª ordem são agrupados em outros de 3ª ordem, e este processo se repete até que mais nenhum agrupamento seja possível ou que todos os agrupamentos convirjam em um único agrupamento ou, o mais provável, que um dos critérios de agrupamento não seja verificado (NIJ, 2002).

Para identificar agrupamentos, deve-se calcular um intervalo de confiança para a distância do vizinho mais próximo aleatório, usando a seguinte expressão:

$$IC = D_a \pm t * SE_{Aleat.} \quad (3.16)$$

em que:

IC : intervalo de confiança; e,

D_a : distância média do vizinho mais próximo aleatória;

$SE_{aleat.}$: erro médio da distância do vizinho mais próximo aleatória;

t : valor associado a um percentual de probabilidade, p , com valores de 0,001% a 99,9%, segundo a distribuição t-de *Student*, que estão associados ao intervalo de -3,719 a +3,090.

A distância média do vizinho mais próximo aleatório (D_a) é calculada segundo a equação 3.14.

O erro médio da distância do vizinho mais próximo aleatório é calculado por meio da seguinte expressão (CRESSIE, 1993):

$$SE_{aleat.} = \sqrt{\frac{(4-p)A}{4pN^2}} \cong \frac{0,26136}{\sqrt{(N^2 / A)}} \quad (3.17)$$

Desta maneira, o intervalo de confiança é calculado pela seguinte expressão:

$$IC = 0.5\sqrt{A/N} \pm t * \left(\frac{0,26136}{\sqrt{N^2 / A}} \right) \quad (3.18)$$

Este intervalo de confiança define uma probabilidade para a distância entre qualquer par de pontos. Por exemplo, uma probabilidade uni-caudal específica, p , significa que pouco menos do que $p\%$ dos pontos teriam distância do vizinho mais próximo menor do que a distância limite, supondo uma distribuição aleatória. Se os dados forem geograficamente aleatórios e se uma probabilidade p menor igual a 5% é selecionada, então, quase 5% dos pontos estariam mais próximos do que a distância limite calculada pelo intervalo de confiança. Do mesmo modo, se probabilidade p menor ou igual a 75% é selecionada, então, aproximadamente 75% dos pontos estariam mais próximos do que a distância limite. Em outras palavras, a distância limite é um percentual de probabilidade para selecionar qualquer par de pontos considerando uma distribuição aleatória.

Para representar visualmente os agrupamentos, deve-se selecionar a quantidade de desvios padrões relacionada à dimensão da elipse, ou seja, quanto maior a quantidade de desvios padrões, maior a área da elipse e maior o percentual de pontos contidos na área da elipse. Em geral, ao usar 1 desvio padrão é esperado que no mínimo 50% dos pontos de cada agrupamento estejam contidos na área da elipse; usando 1,5 desvios padrões obtém-se 90% dos pontos e com 2 desvios padrões obtém-se 99% dos pontos (NIJ, 2002).

A técnica de agrupamento do vizinho mais próximo possibilita identificar locais onde existem concentrações de pontos, representando áreas críticas, sem necessitar da definição de áreas limites, tais como setores censitários ou bairros. Como exemplo de aplicação, NIJ (2002) apresenta a aplicação da técnica para identificar corredores comerciais com muitas ocorrências de roubos e assaltos (Figura 3.6). A técnica também demonstrou que estas ocorrências também se localizavam nas fronteiras com outros municípios.

Existem algumas limitações da técnica de agrupamento do vizinho mais próximo (NIJ, 2002). Inicialmente, o tamanho da área de agrupamento depende do tamanho da amostra. Distribuições com muitas ocorrências terão distâncias aleatórias menores do que aquelas que têm poucas ocorrências. Outra limitação é que não há qualquer teoria explicativa sobre a causa dos agrupamentos. Eles são derivados empíricos de

procedimentos e não tem quaisquer teorias explicativas relacionada, sendo responsabilidade do analista identificar as causas daqueles agrupamentos.

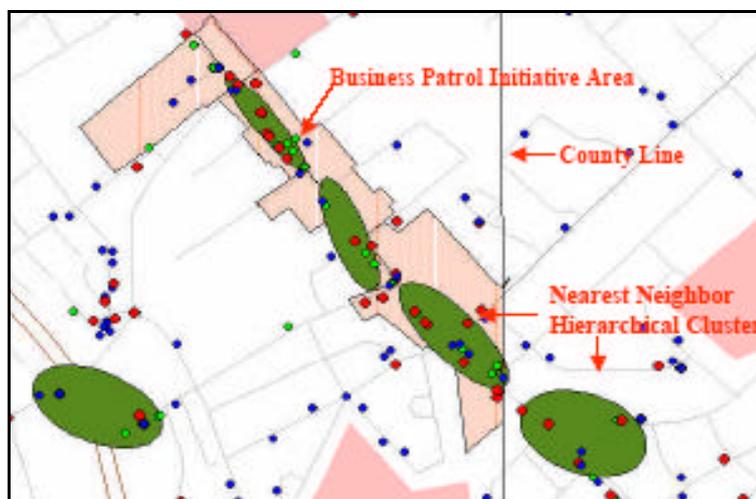


Figura 3.6: Agrupamentos de roubos e assaltos em Baltimore (NIJ, 2002).

Apesar de NIJ (2002) citar que há uma certa arbitrariedade na seleção da quantidade mínima de pontos, GRUBESIC e MURRAY (2002) citam que já existem procedimentos, como o critério de agrupamento cúbico, que auxiliam o analista nesta identificação. Deve-se lembrar também que, no caso da segurança viária, uma sugestão para início da análise seria usar a média de acidentes por interseção com a experiência e o conhecimento sobre a realidade local dos acidentes podendo auxiliar nesta definição. Porém, estes mesmos autores citam que os agrupamentos hierárquicos geram agrupamentos ótimos apenas em nível local e não global, ou seja, não há garantia de que os agrupamentos formados com aquelas quantidades mínimas de pontos sejam melhores que outros agrupamentos formados com outras quantidades mínimas de pontos.

3.7. APLICAÇÕES DE ANÁLISE ESPACIAL NA SEGURANÇA DE TRÁFEGO

Uma revisão da literatura nacional e estrangeira em aplicações das ferramentas de análise espacial apontou que a maioria dos trabalhos publicados usa as ferramentas de seleção e de manipulação para os mais diversos objetivos relacionados à segurança de tráfego, abrangendo desde um instrumento de consulta e visualização de dados espaciais (CARDOSO E LOUREIRO, 2001; KIM E YAMASHITA, 2002; MANTOVANI E RAIA JR., 2002), até as técnicas de análise de áreas de influências, *buffers*, usadas nas pesquisas de FAHGRI e PANCHANATHAN (1995) e da

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION - FHWA (1999). Além destes, identificar agrupamentos e tendências de acidentes com as ferramentas de análise exploratória foram os objetivos dos estudos de análise de padrões pontuais realizados por LEVINE *et al.* (1995) e KIM *et al.* (2002). O artigo de LASCALA *et al.* (2000) é um dos vários exemplos estrangeiros de aplicação das ferramentas de análise confirmatória, com resultados que identificaram correlações dos atropelamentos com a densidade populacional da zona e com o seu fluxo de tráfego.

Vale destacar que não foi encontrado na literatura pesquisada qualquer trabalho que usasse as ferramentas da análise exploratória em áreas para uma melhor compreensão do fenômeno da segurança viária. Em outras ciências já existem vários trabalhos usando estas ferramentas, sendo que a pesquisa desenvolvida por KAMPEL *et al.* (2001) teve uma contribuição significativa para esta dissertação. Também não foi observada nenhuma aplicação das ferramentas de agrupamentos na literatura nacional sobre segurança de tráfego.

3.8. SIG E GEOREFERENCIAMENTO

Todos os trabalhos acima citados foram elaborados em um SIG, que é o ambiente computacional natural para a realização de análises espaciais. Esta seção cita algumas características e aplicações destes sistemas, destacando-se as ferramentas de georeferenciamento.

DANTAS *et al.* (1996) definiram um Sistema de Informação Geográfica como a integração entre banco de dados, recursos humanos, *hardware*, *software* adequado e um ferramental para análise espacial, sendo este o item que primeiramente diferencia um SIG de um Sistema de Informações convencional. CAMARA *et al.* (1996) citam os principais componentes de um SIG: interface como o usuário, entrada e integração de dados, funções de processamento; visualização e plotagem; e armazenamento e recuperação de dados.

As principais estruturas para representar dados espaciais em um SIG são a estrutura vetorial e a estrutura *raster* (CAMARA *et al.*, 1996). Na primeira, todas as entidades são representadas sob a forma de vetores (pontos, linhas e polígonos), em que operações topológicas (como por exemplo, adjacência e inclusão) são muito comuns. Na segunda estrutura, todo o espaço sob análise é dividido em uma grade reticulada,

onde cada célula, denominada *pixel*, possui um valor individual atribuído a ela, o que pode causar erros consideráveis dependendo da escala de observação. Muitos trabalhos usam uma ou outra estrutura, mas torna-se cada vez mais comum a apresentação de trabalhos que usam a potencialidade de ambas, como as pesquisas desenvolvidas por TACO *et al.* (1997) e TEIXEIRA (2003).

Segundo LEVINE *et al.* (1995), o georeferenciamento é uma das primeiras funções de um SIG que usa a estrutura vetorial, consistindo em acrescentar pontos a um mapa usando o seu endereço ou outra forma de localização. Um elemento importante para o georeferenciamento de pontos é o cadastro digital de logradouros do município, representado na estrutura vetorial. Este cadastro deve conter a denominação e a numeração dos lotes de início e fim da quadras caracterizadas por cada vetor da base de logradouros, que deve ser o mais atualizado possível para que o georeferenciamento atinja elevados percentuais. BEATO (2002) cita que, em Belo Horizonte, foi estabelecido um convênio entre a Polícia Militar e a Prefeitura no qual a Polícia se comprometia a atualizar os endereços e, em troca, poderia usufruir todas as informações que a Prefeitura dispõe sobre a base de logradouros.

No caso da segurança de tráfego, outra informação muito importante para o georeferenciamento é o local do acidente que, geralmente, é coletado como os nomes dos logradouros que se interceptam se o acidente for em interseção, ou como a numeração e o nome do logradouro, se for acidente em trecho de logradouro. Vale lembrar que muitos acidentes que não ocorrem na área da interseção são associados a ela por não dispor de outro modo de endereçamento. Alguns órgãos também coletam o nome do ponto de referência, caso não exista a numeração (LEVINE *et al.*, 1995).

O georeferenciamento pode ser realizado de quatro formas:

- Acréscimo ponto a ponto;
- Aplicando as rotinas disponíveis nos pacotes comerciais de SIG;
- Usando programas elaborados na linguagem de programação deste pacote; e,
- Usando programas especializados.

O primeiro procedimento deve ser usado apenas para pequenas quantidades de dados, pois é bastante demorada. A segunda forma exige que os formatos dos arquivos estejam de acordo com aquele exigido pela rotina interna de alguns programas de SIG, o que nem sempre é possível. Os dois últimos procedimentos apresentam a vantagem de se adaptarem às necessidades do usuário, porém exigem recursos humanos com conhecimento necessário para a realização desta tarefa.

Como exemplo de linguagem de programação disponível em pacotes de SIG pode-se citar a linguagem de Programação *Macro Caliper Script* (implementada por meio do aplicativo GISDK - *Geographic Information System Development's Kit*), contida no pacote de SIG *TransCAD* (CALIPER, 1996). Este pacote foi projetado especificamente para análise de dados de transportes, sendo capaz de armazenar, apresentar, gerenciar e analisar tais dados, além de modelar a demanda por transportes em uma plataforma interativa.

A maioria das publicações consultadas realizou o georeferenciamento ponto a ponto dos acidentes (BETTI, 1999; SIMÕES *et al.*, 1998; MANTOVANI e RAIA JR., 2002; CARDOSO e LOUREIRO, 2001). Em relação a aplicação das rotinas de georeferenciamento dos pacotes de SIG, HANCHEY *et al.* (2000) atingiram 92% de georeferenciamento do total de acidentes. Já BROSE (1999) inicialmente atingiu 60% do total de acidentes, após executar atividades de correções e padronizações dos dados chegou a 90%. Os maiores percentuais foram obtidos por LEVINE e KIM (1998), com 93%, e por LEVINE *et al.* (1995) que obtiveram 98% de georeferenciamento.

Sobre a aplicação do processo de georeferenciamento dos acidentes para posterior uso das ferramentas do SIG nos órgãos de trânsito nacionais, GOLD (1998) cita que apenas o Observatório de Acidentes de Trânsito (OAT) de Curitiba e o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) estavam desenvolvendo rotinas para possibilitar o georeferenciamento automático dos acidentes. ZUPPO *et al.* (1993) citam diversas aplicações do SIG na engenharia de transportes em Belo Horizonte, sem relacionar estudos de segurança viária. Internacionalmente, GOLD (1998) também cita o pacote MAAP (*Microcomputer Accident Analysis Package*), elaborado pelo *Transportation Research Laboratory*, no Reino Unido, realiza o georeferenciamento usando mapas esquematizados da malha viária e páginas em cores

dos guias da cidade, capturados por *scanner*. ARAÚJO E CRUZ (2002) também citam que o Sistema de Gerenciamento de Informações Estatísticas de Trânsito de Veículos e Pedestres, implantado em Natal, está desenvolvendo um projeto para o georeferenciamento dos acidentes.

Dentre os motivos normalmente alegados para não implementar o georeferenciamento dos acidentes, destacam-se: nomes de ruas sem localização na base de logradouros (LEVINE e KIM, 1998), assim como acidentes que ocorrem em propriedade privada, que não tem denominação oficial (MILLER, 1999).

O simples georeferenciamento dos acidentes ainda não é suficiente para extrair o máximo de informações possíveis. É necessário que a tecnologia de uso destas informações possa relacionar as diferentes características do espaço urbano com diversas caracterizações dos acidentes, identificando locais críticos de acidentes e sugerindo a correlação entre fatores causadores destes eventos. Com este intuito, os pacotes comerciais de SIG vêm sendo usados nas pesquisas acadêmicas nacionais em segurança de tráfego, aplicando as ferramentas mais simples de análise espacial para representar uma grande quantidade de dados, como mapas contendo os locais dos acidentes; assim como integrar diferentes bancos de dados, como informações de acidentes, de geometria das vias e de volume de tráfego. Como exemplo, citam-se os trabalhos de CARDOSO e LOUREIRO (2001), SIMÕES *et al.* (1998) e MANTOVANI e RAIA JR. (2002).

Como visto no parágrafo anterior, o SIG já se encontra razoavelmente disseminado pelo Brasil. Entretanto, existem ferramentas de análise espacial que possibilitam um maior aproveitamento dos seus recursos, permitindo não só a geração de medidas de distribuição espacial, como as elipses de desvio padrão e índices de correlação espacial, como também a análise de vizinhança e de agrupamentos espaciais que podem auxiliar a tomada de decisão em questões sobre a segurança de tráfego.

3.9. INTEGRAÇÃO ANÁLISE ESPACIAL E SIG

ANSELIN (1992) afirma que muitos dos pacotes comerciais de SIG têm definido as ferramentas de seleção e manipulação como análise espacial, não contemplando as ferramentas mais robustas deste tipo de análise. Isto fez com que vários usuários acreditassem que a análise espacial estava limitada somente a estas

ferramentas. Isto tem obrigado os usuários a realizarem suas análises inteiramente fora do ambiente SIG, em pacotes matemáticos e estatísticos. Outra estratégia adotada tem sido o desenvolvimento de interfaces entre pacotes de SIG e modelos de análise de redes, por meio de um intercâmbio de arquivos que possibilite a obtenção de dados espaciais com a respectiva topologia, a partir do SIG, procedendo-se a execução das rotinas analíticas em programas computacionais compilados fora da plataforma SIG e retornando os resultados para a base georeferenciada (LOUREIRO e RALSTON, 1996a; LOUREIRO e RALSTON, 1996b; LOUREIRO e OLIVEIRA, 1999).

Segundo BAILEY (1994), a análise espacial pode ser integrada aos pacotes de SIG das seguintes maneiras: por meio de rotinas disponíveis nestes pacotes; por meio da integração de pacotes de análise e estatística espacial e pela inserção das ferramentas de análise espacial dentro do ambiente SIG usando linguagens de programação. Os benefícios desta associação consistem em melhorar a qualidade das entradas ou análise dos resultados, ou ambos, resultando em capacidade flexível para visualizar geograficamente os dados, prover funções espaciais para editar, transformar, agregar e selecionar linhas e dados derivados assim como facilitar o acesso a relacionamentos espaciais entre entidades na área de estudo.

3.10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foi apresentado que as ferramentas mais robustas de análise espacial não estão sendo usadas pela comunidade nacional, técnica e acadêmica do setor de transportes. As maiores dificuldades para a aplicação destas ferramentas são: ausência de domínio dos conceitos de análise espacial e a não disponibilidade das ferramentas de análise espacial mais robustas nos pacotes comerciais de SIG. O georeferenciamento dos acidentes também pode ser citado como uma dificuldade, no caso brasileiro, pela falta de experiência neste processo quando se pretende analisar geograficamente uma amostra representativa de um local (cidade, estado ou país). Superar estas dificuldades foi um dos objetivos deste trabalho de dissertação.

Quanto à dificuldade do domínio dos conceitos de análise espacial, este capítulo apresentou as definições, equações e algumas observações ao usar as ferramentas de análise espacial. Um procedimento para aplicação dos conceitos da análise espacial pode ser assim definido: definição dos objetivos; escolha do formato dos dados; escolha

do tipo de variável, se ela será usada como discreta ou contínua, o que dependerá do tipo de análise que se quer realizar; e, definição das ferramentas de análise espacial a serem usadas.

A definição destas ferramentas pode estar limitada às ferramentas disponíveis no pacote comercial selecionado para realizar o estudo. Entretanto, esta limitação está se tornando cada vez menor, pois a integração do SIG com análise espacial pode ser feitas de diversas maneiras, destacando-se a integração por meio de pacotes de análise espacial disponibilizados gratuitamente na rede mundial de computadores, *Internet*, e por meio de linguagens de programação interna de pacotes comerciais de SIG. Foi demonstrado também que várias pesquisas internacionais já usaram esta integração para caracterizar geograficamente os acidentes de trânsito. Enquanto isso, no Brasil, estas ferramentas têm sido bastante usadas, mas em outros campos da ciência nacional, destacando-se a segurança pública, o planejamento urbano e a sociologia.

Com relação ao georeferenciamento, foram mostrados os elevados percentuais atingidos em alguns trabalhos da literatura pesquisada, sendo observado que as pesquisas nacionais sobre segurança de tráfego não têm usado este processo, apesar de existirem várias maneiras de executá-lo. Uma das principais dificuldades está relacionada com a existência de poucos bancos de dados informatizados de acidentes, como foi visto no Capítulo 2. Outra dificuldade importante relaciona-se com a disponibilidade de um cadastro digital e georeferenciado de logradouros que contenha os atributos de endereçamento necessários para executar este processo.

O próximo capítulo discute os resultados, as vantagens e desvantagens de uma interface de georeferenciamento, desenvolvida na linguagem de programação interna de um pacote de SIG, para georeferenciar os acidentes de trânsito de Fortaleza. Antes disto, apresenta-se a situação dos atributos de endereçamento do cadastro de logradouros usado nesta pesquisa.

CAPÍTULO 4

GEOREFERENCIAMENTO DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO DE FORTALEZA

*“Conscientizar-se da própria ignorância é um grande passo para aprender.”
Disraeli*

4.1. APRESENTAÇÃO

Constatou-se no Capítulo 2 que apenas 10% das cidades brasileiras municipalizaram o trânsito e que um percentual muito menor possui um banco informatizado de dados de acidentes. No Capítulo 3, foi observado que esta situação, assim como a necessidade de um cadastro digital e georeferenciado de logradouros, fazem com que poucos municípios estejam se preparando para implantar algum processo automatizado de georeferenciamento de acidentes.

Observando a situação descrita acima, este capítulo apresenta e analisa as características necessárias a um banco de dados para o georeferenciamento dos acidentes, citando o exemplo do Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito de Fortaleza (SIAT-FOR). Apresentam-se também os tipos de dados armazenados e as principais características da estrutura computacional deste sistema, já que eles influenciam a quantidade de acidentes georeferenciados e também os tipos de mapas gerados. São relatadas as dificuldades e as vantagens observadas durante a elaboração de uma rotina desenvolvida na linguagem de programação interna de um pacote comercial de SIG para, logo depois, relatar algumas soluções encontradas para os motivos do não georeferenciamento dos acidentes.

Nas seções finais, são abordadas as vantagens do georeferenciamento, tanto para possibilitar a avaliação de um banco de dados de acidentes para a engenharia de tráfego, como também para a elaboração de mapas temáticos.

4.2. SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ACIDENTES DE TRÂNSITO DE FORTALEZA (SIAT-FOR)

Esta seção descreve a estrutura de funcionamento do SIAT-FOR, com o objetivo de apresentar as suas características relevantes, os dados coletados, os relatórios elaborados, também visando apresentar e avaliar quantitativamente o preenchimento dos

atributos de endereçamento da camada de logradouros, necessária para qualquer cadastro de acidentes e fundamental para o georeferenciamento destes eventos.

Antes de apresentar esta seção, deve-se citar que a Autarquia Municipal de Trânsito, Serviços Públicos e Cidadania (AMC) é o órgão responsável pela gerência do trânsito em Fortaleza. O SIAT-FOR foi implantado na Divisão de Engenharia deste órgão em maio de 2000, motivado, dentre outros fatores, pelo Artigo 24 do Código de Trânsito Brasileiro e pelo cenário negativo dos índices de acidentes nessa cidade. Seus objetivos são colaborar com o Sistema Nacional de Estatística de Acidentes de Trânsito (SINET) e possibilitar a deflagração de campanhas e estudos de segurança viária com base em estatísticas de acidentes de trânsito (ASSOCIAÇÃO TÉCNICO CIENTÍFICA ENGENHEIRO PAULO DE FRONTIM - ASTEF, 2001).

4.2.1. Coleta de dados

O SIAT-FOR é alimentado com dados de acidentes coletados por nove instituições oficiais de todas as esferas administrativas (municipal, estadual e federal), sendo que cada uma possui um procedimento diferente de envio de dados, como descrito na Tabela 4.1. Em muitos casos, detectou-se que os dados coletados pelas fontes são complementares, ou seja, em um mesmo acidente, enquanto uma fonte coleta os dados de seu interesse, uma outra fonte, ao realizar a mesma tarefa, complementa os dados necessários para a análise daquele acidente. Por este motivo, o sistema computacional do SIAT-FOR possibilita a consistência e a complementação dos dados em tempo real, ou seja, à medida que um acidente repetido é encontrado durante o cadastro, ele é editado e complementado com os demais dados (ASTEF, 2001).

A principal desvantagem de ter outras fontes coletando dados relaciona-se com a qualidade das informações sobre o endereçamento que influencia os resultados do georeferenciamento dos acidentes, como será visto mais adiante. Entretanto, deve-se ressaltar que esta integração de fontes resulta em uma coleta de dados de acidentes muito maior que, embora com dados incompletos, possibilita uma análise mais realista da situação da segurança de tráfego. Deve-se lembrar que esta estrutura permite obter dados posteriores em relação aos acidentes com vítimas que faleceram dias depois dos acidentes, pois o IML é uma das fontes coletoras.

Tabela 4.1: Procedimentos de coleta de dados empregada pelo SIAT-FOR.

Fonte	Coleta recebida pelo SIAT-FOR		
	Documento	Período	Procedimento
Autorarquia Municipal de Trânsito, Serviços Públicos e de Cidadania de Fortaleza (AMC).	Boletim de ocorrência (B. O.).	Diário	Pesquisador do SIAT-FOR vai à Divisão de Operações, retira os BO's do dia e cadastra no Sistema.
Juizado Especial Móvel	Formulário de orientação processual	A cada dois dias	Pesquisador do SIAT-FOR vai à sede deste órgão, coleta uma cópia de cada formulário e cadastra no Sistema.
SOS Fortaleza	Planilha com as principais informações do atendimento de emergência	Mensal	Pesquisador do SIAT-FOR vai à sede deste órgão, grava planilha, imprime e cadastra no Sistema.
Instituto Dr. José Frota (IJF)	Dados de internação do paciente	Semanal	
Instituto de Criminalística (IC)	Resumos de plantão dos peritos	Mensal	Pesquisador do SIAT-FOR vai à sede deste órgão, fotocopia resumos dos plantões e cadastra no Sistema.
Centro Integrado de Operações de Segurança (CIOPS/PM)	Relatório descritivo da ocorrência	Diário	Arquivo texto enviado pela <i>internet</i> , impresso e cadastrado no Sistema.
Grupo de Socorro de Urgência –Bombeiros (GSU)	Relatório descritivo da ocorrência	Diário	
Departamento Estadual de Trânsito (DETRAN/CE)	Resumo dos dados da perícia	Mensal	
Instituto Médico Legal (IML)	Guias policiais para laudo cadavérico	Mensal	

Fonte: QUEIROZ *et al.* (2003).

Para exemplificar a vantagem da integração de fontes, analisa-se a seguir a quantidade de documentos repetidos e a participação da AMC como órgão, logo após a ocorrência do acidente. No ano de 2001, foram analisados e digitados 23.682 registros de acidentes de trânsito (AMC, 2003). Após a execução dos procedimentos que verificam a repetição de documentos, foram detectadas 6.893 ocorrências de trânsito repetidas que foram usadas para complementar as informações destes mesmos acidentes, que já estavam cadastrados no SIAT-FOR. Já em 2002 foram detectados 13.434 acidentes repetidos (AMC, 2003). A Figura 4.1 apresenta a distribuição percentual dos acidentes quanto à repetição de dados coletados, na qual pode-se verificar que ocorreu um aumento dos acidentes repetidos, podendo significar que as

fontes de coleta estão se equipando com mais recursos para coletar mais dados, fazendo com que mais de uma fonte esteja presente em uma ocorrência de acidente.

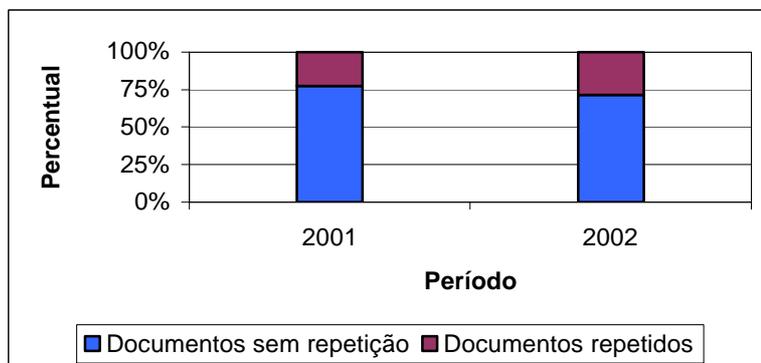


Figura 4.1: Percentual de documentos repetidos coletados em 2001 e 2002.

A Figura 4.2 apresenta a distribuição do total de acidentes com repetição na qual pode-se observar que no máximo 17% do total de acidentes são coletados pela AMC. Considerando os acidentes sem repetição, a AMC esteve presente em 25% das ocorrências. Este percentual pode ser justificado pela quantidade insuficiente de agentes municipais de trânsito e pelo fato de que os primeiros órgãos acionados após a ocorrência do acidente são os órgãos de saúde, caso haja vítimas, ou então a perícia para diagnosticar as causas do acidente e apontar o seu responsável. Vale ressaltar que o CIOPS coletava mais dados em 2001, já que a sua contagem continha os dados do Corpo de Bombeiros, que a partir de 2002 passou a enviar as informações isoladamente.

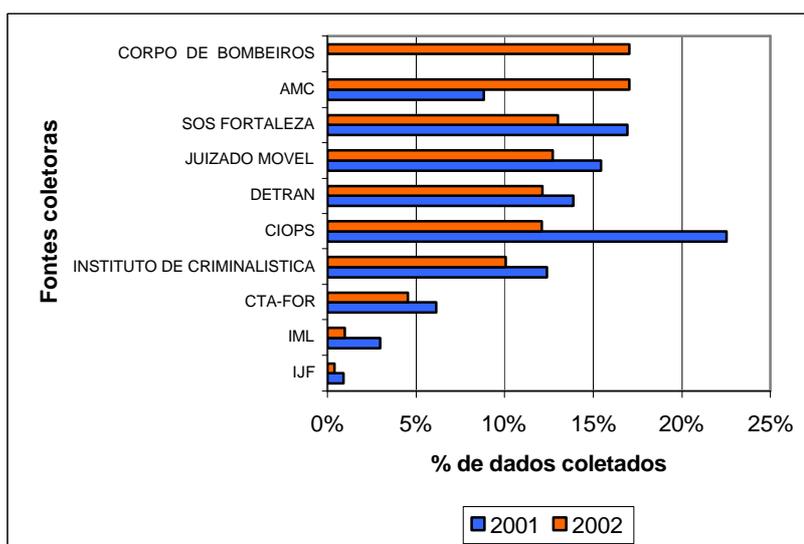


Figura 4.2: Percentual de acidentes com repetição coletados por cada fonte coletora.

4.2.2. Dados armazenados

O SIAT-FOR armazena todos os dados de acidentes requisitados pelo SINET, alguns dados de tráfego e alguns dados físicos da malha viária, como extensão dos trechos de quadra. Outro dado armazenado, importante para qualquer banco de dados de acidentes, é o cadastro de logradouros da cidade, o qual foi obtido junto a Prefeitura Municipal de Fortaleza, oriundo de um levantamento aerofotogramétrico realizado em 1995. Este cadastro contém os atributos necessários para o georeferenciamento dos acidentes que são a denominação e a numeração das esquinas de cada vetor da base de logradouros. Este cadastro apresentava 96% dos vetores com denominação e 66% com a numeração das esquinas. A Figuras 4.3 e a Figura 4.4 ilustram a situação do cadastro em relação à distribuição espacial dos vetores sem denominação e sem numeração, nas quais se pode observar que a maioria dos vetores sem denominação está dispersa na malha viária, enquanto que os vetores sem numeração localizam-se nas regiões periféricas da cidade.

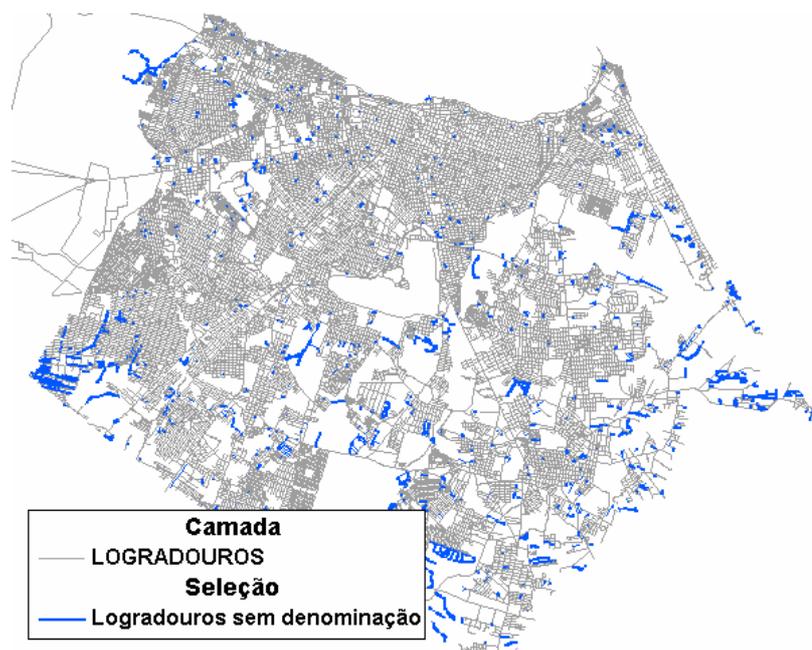


Figura 4.3: Logradouros sem denominação do município de Fortaleza.

4.2.3. Sistema computacional

O sistema computacional do SIAT-FOR foi desenvolvido em linguagem de programação *Delphi 5.0*, usando o banco de dados *MS SQL Server 6.5/7.0*. Os seus principais módulos são: cadastros, acidentes e relatórios (ASTEFA, 2001). O módulo de cadastros contém quatro seções que possibilitam a alteração de dados dos logradouros e

inclusão de pontos de referência do local do acidente, uma vez que nem sempre é possível coletar o número da edificação defronte ao acidente.

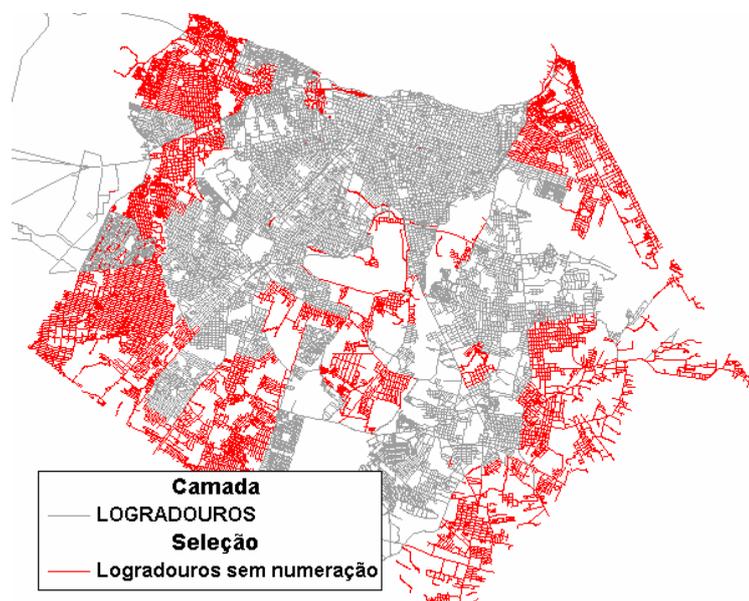


Figura 4.4: Logradouros sem numeração do município de Fortaleza.

O módulo de acidentes possibilita a inclusão, alteração e exclusão de acidentes. A organização do formulário de entrada de dados procurou atender às recomendações do SINET. A Figura 4.5 apresenta a representação deste módulo, no qual se observa em sua parte superior os campos para cadastro de dados espaciais e temporais e, em sua parte inferior, os campos para cadastro dos demais atributos dos acidentes, tais como as características do condutor (grau de instrução, sexo e faixa etária).

Como já foi discutido anteriormente, durante o cadastro de dados é bastante comum encontrar acidentes coletados mais de uma vez por fontes diferentes. O sistema efetua, nesta etapa, a consistência dos dados. Após o cadastro da data, da hora e do primeiro logradouro, o sistema mostra todos os acidentes ocorridos no mesmo dia, um dia antes, e um dia depois, no logradouro em questão. Os dados apresentados podem ser comparados com os dados que seriam digitados, como placas dos veículos envolvidos, o nome e a idade das vítimas. Caso o digitador confirme que o acidente em questão é repetido, o sistema abre nova janela com todos os dados não cadastrados até o momento, permitindo que os dados sejam complementados para aquele acidente. Assim, ao final do processo, o acidente terá mais informações e a possibilidade de cadastro de acidentes repetidos torna-se reduzida. A Figura 4.6 apresenta a tela de verificação de

possíveis acidentes duplicados no sistema, na qual se observa um exemplo que apresenta todos os acidentes ocorridos em um mesmo logradouro na mesma data, contendo também a descrição das vítimas, das placas e das fontes presentes para verificar se o acidente é repetido.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ACIDENTES DE TRÂNSITO - SIAT - [Cadastro de Acidentes - AMC]

Cadastros Acidentes Utilitários Relatórios Sair

Incluir Alterar Excluir Salvar Cancelar Sair

Data	Hora	Logradouro	Num	Logradouro	Num	Jurisdição	Natureza
01/03/2003	03:12	RUA OSCAR ARARIPE	580				
01/03/2003	04:50	AV ALBERTO NEPOMUCENO	48			Municipal	COF
01/03/2003	07:10	AV OLIVEIRA PAIVA	535			Municipal	COL
01/03/2003	08:10	RUA JOSE BORBA		AV SANTOS DUMONT		Municipal	COL
01/03/2003	11:00	RUA ANA BILHAR				Municipal	COL

Data / Hora: 01/03/2003 04:50

Logradouro: 102 ALBERTO NEPOMUCENO No: 48 Jurisdição: M Natureza: COF

Veículos: Aut Ori Cam Reb Mot Bic Out NIn

Categoria: A B C D E Ina Per N Ex N In Grau de Instrução: Sup 2ª 1ª Ana N In Faixa Etária: < 9 12 17 29 59 > 59 N In Sexo: Mas Fem N In

Vítimas Fatais: Con Pas Ped Cic Mot Out NIn Faixa Etária: < 9 12 17 29 59 > 59 N In Sexo: Mas Fem N In Cinto: Uso N Us N In

Vítimas não Fatais: Con Pas Ped Cic Mot Out NIn Faixa Etária: < 9 12 17 29 59 > 59 N In Sexo: Mas Fem N In Cinto: Uso N Us N In

Sem Vítimas: Con Pas Ped Cic Mot Out NIn Faixa Etária: < 9 12 17 29 59 > 59 N In Sexo: Mas Fem N In Identificação: 003027



Figura 4.5: Tela de cadastro de acidentes do SIAT-FOR (ASTE, 2001).

SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ACIDENTES DE TRÂNSITO - SIAT - [Cadastro de Acidentes - AMC]

Cadastros Acidentes Utilitários Relatórios Sair

Incluir Alterar Excluir Salvar Cancelar Sair

Data	Hora	Logradouro	Num	Logradouro	Num	Jurisdição	Natureza
01/03/2003	03:12	RUA OSCAR ARARIPE	580			Municipal	ATR
03/03/2003	10:15	AV WASHINGTON SOARES				Municipal	COL
01/03/2003	04:50	AV ALBERTO NEPOMUCENO	48			Municipal	COF
01/03/2003	07:10	AV OLIVEIRA PAIVA	535			Municipal	COL
01/03/2003	08:10	RUA JOSE BORBA		AV SANTOS DUMONT		Municipal	COL

Data / Hora: 03/03/2003 10:15

Logradouro: AV WASHINGTON SOARES

Acidentes em Duplicidade:

Data	Hora	Logradouro	Logradouro	Natureza
02/03/2003	13:08	WASHINGTON SOARES		ATR
02/03/2003	19:01	WASHINGTON SOARES (CASA JOSE DE ALENCAR)		COL
02/03/2003	20:44	WASHINGTON SOARES (HOSPITAL DE MESSEJANA)		COL
03/03/2003	21:56	WASHINGTON SOARES (COL. ARI DE SÁ CAVALCANTE)		COF

Placa: JN4424

Nome da Vítima: GABRIEL

Idade: 7

Fatal: N

Outros Órgãos:

Fontes Consistência: INSTITUTO DE CRIMINAL BOMBEIROS

Figura 4.6: Tela de possíveis acidentes duplicados do SIAT-FOR (ASTE, 2001).

Desta forma, o SIAT-FOR possibilita complementar os dados em tempo real e, à medida que um acidente repetido é encontrado na etapa de digitação, o mesmo pode ser editado e complementado com os dados inéditos.

O módulo de relatórios apresenta 33 relatórios divididos em duas seções. A primeira seção compreende os 11 relatórios preceituados pelo SINET, enquanto a segunda contém 22 relatórios solicitados pelos engenheiros de tráfego da AMC. A Figura 4.7 apresenta uma tela com os títulos de relatórios requisitados pelo SINET que são enviados periodicamente para o DENATRAN. Já a Figura 4.8 apresenta os relatórios disponíveis no SIAT-FOR, que foram solicitados pelos engenheiros da AMC.



Figura 4.7: Títulos dos relatórios do SIAT-FOR requisitados pelo SINET (ASTEF, 2001).

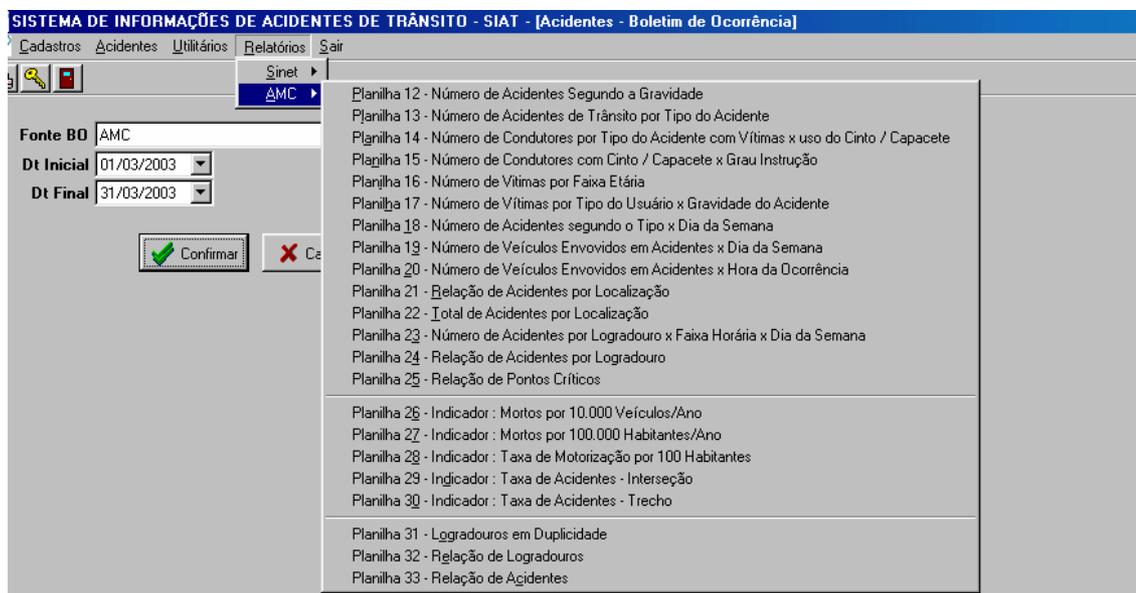


Figura 4.8: Títulos de outros relatórios elaborados pelo SIAT-FOR (ASTEF, 2001).

Os documentos e relatórios elaborados sobre o SIAT-FOR não apresentam aplicação dos procedimentos de consistência relatados no Capítulo 2, seção 2.3. Estes procedimentos estão em fase de implantação.

4.3. GEOREFERENCIAMENTO DOS DADOS DO SIAT-FOR

A seção anterior teve como objetivo maior apresentar as principais características do SIAT-FOR e descrever a situação dos atributos necessários ao processo de georeferenciamento. Esta seção descreve os resultados e as vantagens do georeferenciamento, obtido com a aplicação de uma rotina computacional desenvolvida especificamente para este processo.

Dentre os modos de georeferenciamento, optou-se pelo desenvolvimento de uma rotina computacional na linguagem de programação de um pacote de SIG, devido à possibilidade de controle do processo, ao georeferenciamento de vários tipos de endereçamento e também pela possibilidade de elaboração de outras rotinas que pudessem auxiliar o cadastro de acidentes. Outra vantagem desta rotina consiste no georeferenciamento de acidentes cujos documentos de cadastro, como os BO's, não tem a numeração do logradouro defronte ao acidente, mas que podem ser georeferenciados no ponto médio da extensão dos vetores com a mesma denominação ou código deste logradouro, possibilitando definir e aplicar medidas de engenharia para um corredor.

A rotina foi desenvolvida na linguagem de programação interna do pacote comercial de SIG *TransCAD 3.0*, denominada *GISDK*. Esta rotina usa um campo numérico, denominado código do logradouro, ao invés do campo que contém a denominação do logradouro, para georeferenciar o acidente, porque tem menor tempo de processamento e não está sujeito a erros de digitação.

A principal dificuldade no desenvolvimento desta rotina relacionou-se à localização dos acidentes em trechos que necessitaram da elaboração de um procedimento de interpolação para que os mesmos pudessem ser georeferenciados o mais precisamente possível. Outra dificuldade, solucionada com a elaboração de uma sub-rotina, estava relacionada ao cadastro de acidentes cujos BO's citavam o ponto de referência em vez de citar a numeração do logradouro defronte ao acidente.

A rotina apresentou a vantagem de ser adaptável às várias maneiras de endereçamento como, por exemplo, para locais que não possuem numeração, mas são citadas a rua anterior e a rua posterior ao local do acidente. Outra vantagem foi a elaboração de uma sub-rotina que agrupa os acidentes pelos prováveis motivos para o não georeferenciamento e calcula a porcentagem de cada um destes grupos. Ao

comparar os resultados do georeferenciamento dos acidentes ocorridos em 2002, usando a rotina acima citada e a rotina *Address Matching* disponível no pacote comercial de SIG *TransCAD 3.0*, foi verificado que a rotina desenvolvida georeferenciou aproximadamente 5%, ou seja, 1800 acidentes a mais que a rotina do pacote. Tal fato foi ocasionado pelo georeferenciamento dos pontos de referência inseridos na rotina.

4.3.1. Não georeferenciamento: motivos e soluções

Em Fortaleza, ocorreram 35.910 acidentes de trânsito no biênio 2001/2002, sendo que em 2002 houve um aumento de 17% na quantidade de acidentes em relação a 2001 (AMC, 2003). Deste total de acidentes, obteve-se 72% de georeferenciamento. Este valor pode ser considerado bom quando comparado aos valores apresentados no Capítulo 3 com a aplicação de rotinas disponíveis nos pacotes comerciais de SIG, os quais tiveram um valor máximo de 98%. Deve-se lembrar também que este processo foi implantado em caráter experimental. Os motivos e as soluções para o não georeferenciamento dos acidentes estão na Tabela 4.2. Os resultados demonstram que os principais problemas, tanto em 2001 quanto em 2002, são o preenchimento incompleto do campo referente ao endereço e a ausência da numeração do ponto de referência no logradouro defronte ao acidente. Outro problema, relacionado aos itens 4 e 5 da Tabela 4.2, refere-se ao mapeamento digital atualizado ou a ausência de endereços consistentes, principalmente em áreas periféricas da cidade.

Tabela 4.2: Motivos e soluções para o não georeferenciamento dos acidentes.

Item	Motivos	Soluções	%(2001)	%(2002)
1	Ausência de numeração do endereço no local defronte ao acidente no B. O.	Solicitar aos demais órgãos de coleta que orientem seus funcionários para a coleta correta do local do acidente	42,9%	46,2%
2	Ausência da numeração do ponto de referência do local do acidente no SIAT-FOR	Cadastrar as numerações destes pontos de referência no SIAT-FOR	40,3%	37,4%
3	Nomes de interseções coletadas ou cadastradas erradas	Desenvolver rotina no SIG que colete todos os nomes de interseções possíveis	11,1%	10,8%
4	Endereços não encontrados na tabela de logradouros do SIAT-FOR	Atualizar endereço da tabela de logradouros da base SIG	2,7%	2,1%
5	Ausência da numeração de alguns logradouros na base SIG	Pesquisar a numeração destes logradouros e cadastrar na tabela de logradouros da base SIG	3,0%	3,5%
Total			100,0%	100,0%

A principal causa do item 1 da Tabela 4.2 relaciona-se com o fato de que o funcionário responsável de um dos órgãos coletores não encontrou nem a numeração do imobiliário urbano, nem um ponto de referência no local defronte ao acidente, para registrar na folha de ocorrência. Isto também pode estar sendo causado porque as outras fontes que auxiliam na coleta de dados de acidentes não têm muito interesse em coletar o local preciso da ocorrência, e às vezes coletam apenas a denominação da avenida. Como sugestão, pode-se realizar treinamentos nas outras fontes conveniadas, orientando a forma de coletar esta informação.

Como mostrado no item 3 da Tabela 4.2, o SIG auxilia o cadastro de acidentes ao possibilitar a elaboração de rotinas que facilitem o endereçamento do acidente, tal como o caso das interseções que possuem nomes diferentes nas aproximações, mas que representam o mesmo cruzamento. Como exemplo, seja uma interseção que tenha quatro aproximações com três nomes: Av. A, Rua B e Rua C. As suas possíveis denominações são Rua C x Av. A ou Rua C x Rua B ou Av. A x Rua B. Usando um programa desenvolvido na linguagem de programação do pacote comercial de SIG *TransCAD 3.0*, pode-se obter todos os nomes possíveis para esta interseção, possibilitando cadastrar um acidente na Rua C x Av. A e outro na Rua B x Av. A como pertencente à mesma interseção.

Observa-se também na Tabela 4.2 que a diferença entre cada um dos motivos para o não georeferenciamento em 2001 e 2002 não ultrapassou 4%, podendo significar que as distribuições espaciais dos acidentes nos dois anos não são tão diferentes.

4.3.2. Análise sobre a severidade e localização dos acidentes georeferenciados

Os resultados do georeferenciamento analisados, com o uso de algumas ferramentas de seleção da análise espacial contidas no pacote de SIG *TransCAD 3.0*, possibilitaram retirar conclusões mais detalhadas sobre este processo. Uma destas conclusões foi obtida a partir do percentual de acidentes georeferenciados pelo tipo de severidade. Este índice pode avaliar a eficiência da coleta do dado do local do acidente, pois quanto maior for o percentual de georeferenciamento dos acidentes com vítimas fatais e feridas, maior a probabilidade de redução destes acidentes. Assim, pode-se dizer que um banco de dados será tanto mais eficaz para a engenharia de tráfego quanto maior for o percentual de georeferenciamento dos acidentes graves.

Os resultados deste índice em Fortaleza mostram que algumas medidas devem ser tomadas para elevar o percentual de georeferenciamento dos acidentes com vítimas fatais e dos acidentes com vítimas feridas por atropelamento (Tabela 4.3). Para aumentar estes índices, recomenda-se um trabalho de conscientização sobre a importância da coleta destes dados nos demais órgãos coletores.

Tabela 4.3: Percentual de georeferenciamento conforme a severidade do acidente.

Severidade	Acidentes georeferenciados
Acidentes com vítimas fatais	50,0%
Acidentes com vítimas feridas por atropelamento	67,0%
Acidentes com vítimas feridas	74,0%
Acidentes sem vítimas	72,0%

Outra conclusão foi obtida com a caracterização dos acidentes quanto à localização e severidade. Em Fortaleza, os acidentes em meio de quadra predominam com 59% do total de acidentes de 2001/2002, em relação aos acidentes em interseção. Considerando somente os acidentes georeferenciados, a Figura 4.9 mostra uma predominância dos acidentes em interseção, sendo 21% em interseção semaforizada e 31% em interseção não semaforizada. Observa-se também que a maioria dos acidentes fatais ocorre em meio de quadra, enquanto que a maioria dos acidentes sem vítimas ocorre em interseções. Verificou-se que as interseções semaforizadas têm o seu maior percentual nos casos de acidentes sem vítima, indicando que elas possuem mais acidentes, porém estes são de menor gravidade.

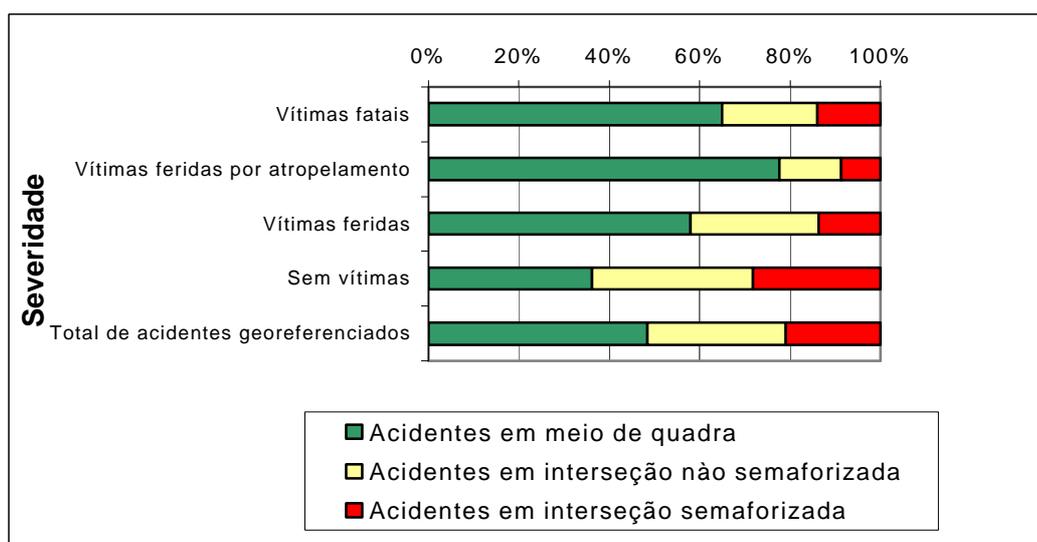


Figura 4.9: Severidade dos acidentes pelo tipo de localização.

A diferença percentual da localização dos acidentes em interseções, 41% em relação ao total de acidentes e 52% em relação aos acidentes georeferenciados, significa que a amostra não é 100% representativa. Entretanto, como esta pesquisa tem um caráter exploratório sobre a aplicação das ferramentas de análise espacial nos problemas de segurança de tráfego, a representatividade não tão elevada da amostra não é um fator tão significativo.

4.3.3. Mapas temáticos

Esta seção apresenta os principais mapas temáticos elaborados com o uso do SIG com o intuito de apresentar como as ferramentas de seleção e manipulação da análise espacial podem auxiliar a segurança de tráfego.

A Figura 4.10 utiliza as ferramentas de seleção para apresentar a distribuição espacial dos acidentes fatais georeferenciados em 2001 e 2002, na qual se pode observar que os acidentes fatais estavam muito dispersos nestes períodos. Deve-se lembrar que esta tipologia teve apenas 50% em média de georeferenciamento nos dois anos e qualquer conclusão não pode ser tomada como definitiva. Entretanto, mesmo se todos os acidentes estivessem georeferenciados, não se poderia afirmar apenas visualmente em que período eles estiveram mais dispersos ou onde ocorreu a maior concentração de acidentes.

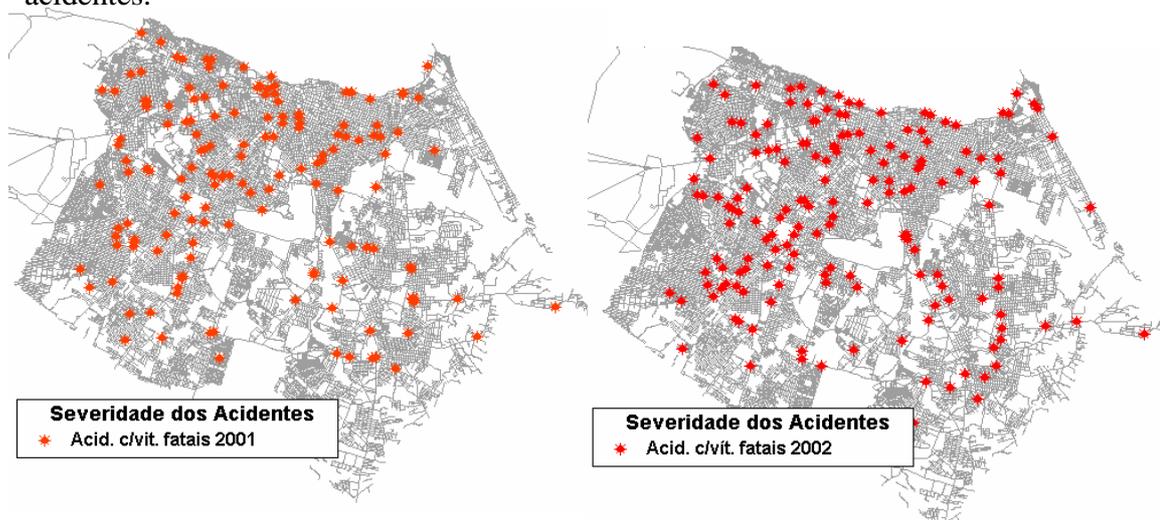


Figura 4.10: Localização dos acidentes georeferenciados com vítimas fatais.

Outro exemplo da ferramenta de seleção está apresentado na Figura 4.11 contendo as oito interseções semaforizadas que tiveram mais de 30 acidentes em 2002. Pode-se observar que existem dois grupos com duas interseções bastante próximas, um

na Av. Domingos Olímpio e outro na Av. Eng. Santana Júnior. Esta proximidade pode indicar que algumas características destas interseções podem ter fatores contribuintes comuns aos acidentes. Entretanto, não se pode definir o valor desta proximidade aleatoriamente ou apenas visualmente.

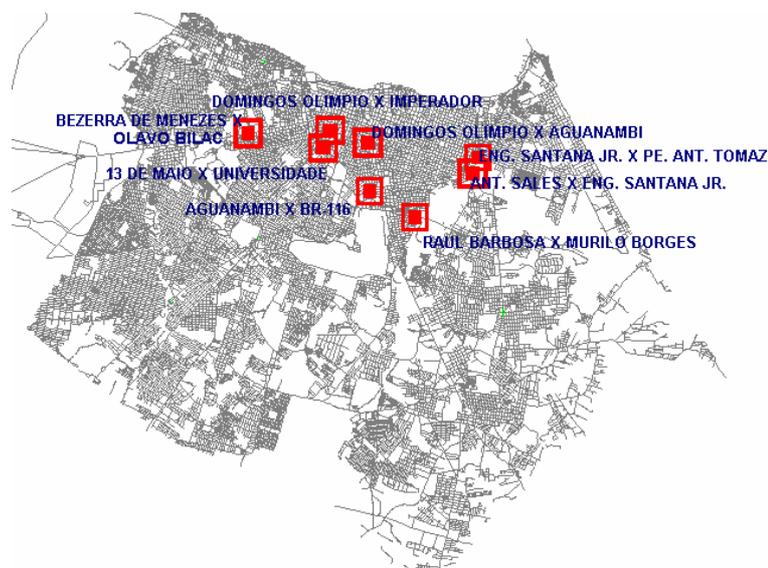


Figura 4.11: Interseções semaforizadas críticas em 2002.

A Figura 4.12 apresenta a quantidade de acidentes por bairro em 2001, na qual apenas os bairros com as maiores ocorrências de acidentes são identificados. A elaboração deste mapa usou a ferramenta de manipulação amplamente disponível na maioria dos pacotes comerciais de SIG. Nesta figura pode-se observar que os três bairros com as maiores quantidades de acidentes são vizinhos, sugerindo um possível agrupamento nesta área. Do mesmo modo que nas figuras anteriores, a confirmação da existência deste agrupamento só pode ser realizada aplicando as ferramentas mais robustas de análise espacial.

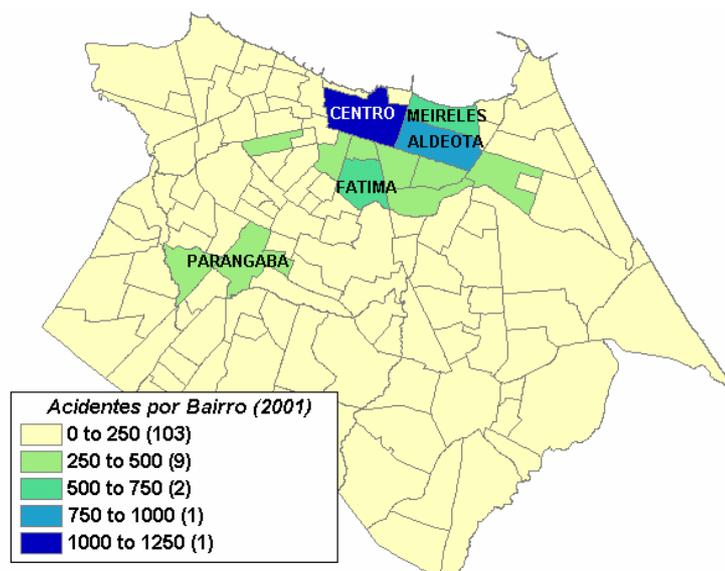


Figura 4.12: Quantidade de acidentes por bairro em 2001.

4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Possuir uma quantidade significativa de fontes coletoras que proporcione a coleta de uma amostra significativa dos acidentes, assim como possuir um sistema que possibilite o armazenamento de várias fontes, a consistência e a complementação de dados, são características fundamentais que todo banco de dados de acidentes deveria ter. A necessidade de várias fontes coletoras para ter uma amostra significativa advém do fato de que o órgão responsável não tem uma estrutura de recursos humanos e físicos adequada para esta coleta. Como exemplo, foi observado neste capítulo, em apenas 25% do total de acidentes no município de Fortaleza, o órgão executivo de trânsito municipal estava presente.

Deve-se observar que aproximadamente 13% do total de acidentes em 2001 e 2002 não puderam ser analisados porque não apresentavam a numeração do endereço do local defronte ao acidente, no documento de registro do acidente de uma das fontes coletoras. Outro problema que pode ocorrer no endereçamento relaciona-se à identificação do endereço que, muitas vezes, é cadastrado no documento de registro das fontes usando a denominação popular. Para reduzir estes problemas, o banco de dados informatizado deve ter estas características: cadastro de logradouros atualizado, rotinas de identificação de ruas que possuam diferentes denominações ao longo de sua extensão e rotinas de identificação de ruas que possuam identificação popular diferente do cadastro oficial.

O uso da rotina de georeferenciamento, desenvolvida na linguagem de programação interna do pacote de SIG *TransCAD 3.0*, proporcionou bons resultados quando comparados aos valores obtidos em pesquisas estrangeiras, especialmente levando-se em conta que esta rotina foi implantada apenas em caráter experimental. Usando esta mesma linguagem, foram desenvolvidas outras rotinas que auxiliaram o cadastro de acidentes no banco de dados, como a rotina desenvolvida para identificação de interseções que possuem nomes diferentes nas aproximações, mas que representam o mesmo cruzamento. Demonstrou-se também a importância deste processo para caracterizar a eficiência de um banco de dados para a engenharia de tráfego, a qual será tanto maior quanto maior for o percentual de georeferenciamento de acidentes com vítimas fatais e feridas. A elaboração desta rotina demonstra que o objetivo específico, elaborar uma base de dados georeferenciados, a partir de uma interface lógica entre o SIAT-FOR e o pacote computacional *TransCAD for Windows 3.0*, foi atingido.

As soluções apresentadas para o não georeferenciamento dos acidentes demonstram que o processo usando a rotina elaborada na linguagem de programação GISDK poderá atingir índices ainda maiores, porque estas soluções são tarefas de fácil execução e baixo custo, tais como as pesquisas de numeração de pontos de referência e correções de denominações de logradouros. Estes resultados demonstram que o objetivo específico, diagnosticar os problemas detectados no processo de georeferenciamento dos acidentes e apresentar algumas soluções para garantir uma maior eficiência neste processo, foi atingido com sucesso.

Várias informações sobre análises geográficas de locais críticos de acidentes, sejam cruzamentos, trechos ou áreas (bairros, zonas de análise de tráfego, dentre outras), não puderam ser obtidas aplicando apenas as ferramentas de seleção e manipulação da análise espacial. Estas informações podem ser obtidas usando as ferramentas mais robustas de análise espacial, como o índice global de Moran e o índice do vizinho mais próximo, que se encontram disponíveis em alguns pacotes de SIG e em pacotes de estatística espacial, os quais podem ser integrados ao SIG. A aplicação e a análise dos resultados proporcionados por estas ferramentas constituem o tema central do próximo capítulo.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE ESPACIAL DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO DO MUNICÍPIO DE FORTALEZA

*“Quanto mais estudamos, mais descobrimos nossa ignorância.”
Shelley*

5.1. APRESENTAÇÃO

Conforme apresentado no Capítulo 2, os índices de acidentes vêm sendo usados para comparar a situação da segurança de tráfego entre locais e para identificar locais críticos na malha viária. Estes índices poderiam ser usados para os objetivos almejados por esta pesquisa. Entretanto, existem algumas dificuldades que impedem a aplicação destas ferramentas pela comunidade técnica e acadêmica nacional de segurança de tráfego, como foi discutido no Capítulo 3. As maiores dificuldades são: ausência de domínio dos conceitos de análise espacial; a não disponibilidade destas ferramentas nos pacotes comerciais de SIG; e a falta de experiência no processo automatizado de georeferenciamento de acidentes no Brasil.

Com relação ao georeferenciamento, foi constatado que para o desenvolvimento das análises seria recomendado que uma amostra representativa dos acidentes estivesse georeferenciada, o que raramente é possibilitado pelos sistemas de arquivamento de dados nacionais porque estes ainda não são, em sua maioria, arquivados em meio digital. O Capítulo 4 apresentou uma rotina de georeferenciamento que também serviu para avaliar a eficiência e auxiliar o cadastro de acidentes em um banco de dados, observando-se que o SIG poderia ter outras funções além de elaborar mapas temáticos.

Este capítulo aplica algumas das ferramentas de análise espacial exploratória demonstrando o potencial destas ferramentas para a segurança de tráfego nacional. Nesta pesquisa buscou-se elaborar uma metodologia de análise que possibilitasse novas aplicações aos índices de acidentes de trânsito, usando as ferramentas de análise espacial, de forma a obter uma caracterização espacial sistêmica das condições da segurança de tráfego e também possibilitar uma caracterização das linhas de atuação destes índices. No desenvolvimento desta metodologia, optou-se por uma modelagem

matemática que não exigisse recursos computacionais avançados e nem pacotes de programas com elevados custos de aquisição.

5.2. ESTRUTURA DA METODOLOGIA PROPOSTA

Antes de apresentar a metodologia, é importante ressaltar que esta pesquisa tem um caráter exploratório em relação à aplicação de um conjunto de ferramentas de análise e estatística espacial pouco usado pela comunidade acadêmica da engenharia de transportes. Além disso, buscou-se também elaborar uma metodologia de análise simples, contendo etapas que detectassem erros nos resultados. Estas considerações serviram como orientação para a elaboração e discussão de cada etapa da metodologia, destacando as implicações e o significado de cada etapa. Este capítulo também apresenta um exemplo de aplicação da metodologia proposta usando os dados de acidentes georeferenciados do SIAT-FOR.

A Figura 5.1 apresenta as etapas da metodologia proposta. Na próxima seção, os objetivos e as atividades de cada uma destas etapas são descritos.

5.3. ETAPAS DA METODOLOGIA PROPOSTA

Esta metodologia foi dividida em três etapas para facilitar a compreensão e a aplicação das ferramentas de análise espacial.

5.3.1. Preparação da base de dados

A etapa de preparação da base de dados possui como objetivo principal organizar, verificar e corrigir os dados para analisá-los geograficamente nas etapas B e C. A descrição de cada um destes objetivos encontra-se dividida em atividades que são detalhadas a seguir.

A atividade A.1 (Georeferenciamento) foi descrita e discutida no Capítulo 4 e se encontra aqui para fornecer sentido completo à metodologia. Além desta atividade, apenas as atividades A.5 e A.6 são necessárias para a preparação da base de dados para a etapa C.

A atividade A.2 (Definição da unidade de análise de área) consiste em definir o formato de área a ser usado na etapa B, sendo recomendado um formato que seja o mais desagregado possível. Neste caso, o analista deve estar atento aos efeitos de escala e

zoneamento relacionados ao Problema da Unidade de Área Modificável (PUAM) e aos demais problemas relacionados à análise de dados em áreas.

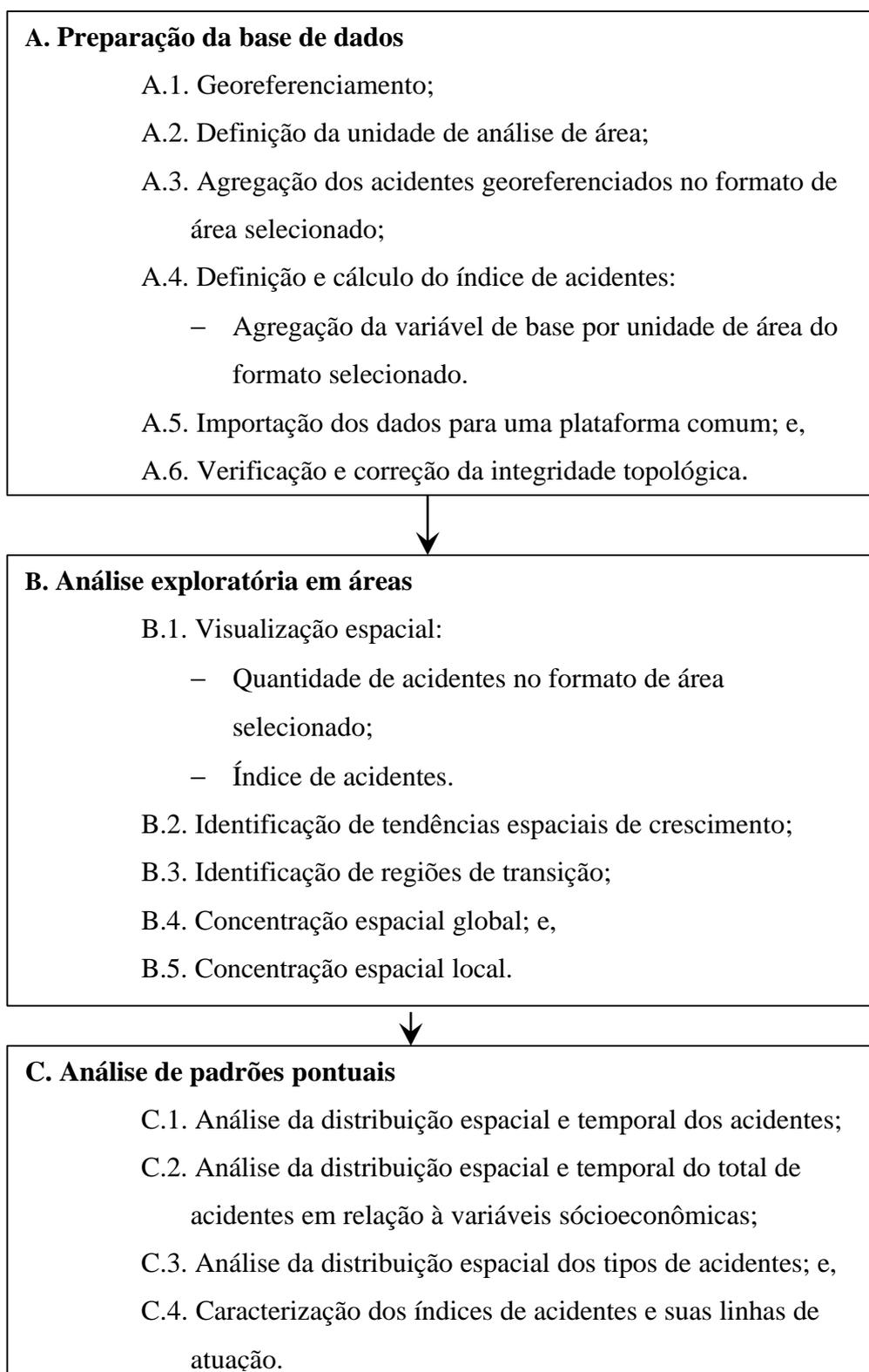


Figura 5.1: Estrutura da Metodologia.

Na terceira atividade (Agregação dos acidentes georeferenciados no formato de área selecionado), deve-se usar uma ferramenta de sobreposição de camadas, também conhecida como *overlayer*, para contabilizar a quantidade de acidentes georeferenciados por unidade de área selecionada. Antes de realizar este cálculo, deve-se verificar se as camadas de áreas e de logradouros se sobrepõem nos limites viários estabelecidos para a definição das áreas para que os acidentes sejam alocados a unidade de área correta. Vale ressaltar também que esta agregação possibilita modelar a quantidade de acidentes de trânsito usando variáveis que somente estão disponíveis no formato de dados agregados, tais como os dados censitários do IBGE.

A atividade A.4 (Definição e cálculo do índice de acidentes) consiste em definir um dos índices de acidentes, absoluto ou relativo, para ser usado na etapa B. Se o índice selecionado for relativo, é necessário que a variável de base também seja agregada no mesmo formato de área definido na atividade A.2, usando a mesma ferramenta aplicada na atividade A.3. Em seguida, deve-se calcular o valor do índice usando as ferramentas de cálculo que estão disponibilizadas em vários pacotes comerciais de SIG.

Agregados os dados e calculados os índices, a atividade A.5 (Importação dos dados para uma plataforma comum) realiza a importação da camada de áreas ou de pontos para uma plataforma que calcule as estatísticas espaciais necessárias para se atingir os objetivos do estudo. Existem vários pacotes computacionais para esta análise, alguns deles disponíveis na rede mundial de computadores, *Internet*. A definição do pacote a ser usado dependerá dos objetivos do estudo e da disponibilidade de recursos para aquisição dos recursos computacionais.

Deve-se ter cuidado nesta importação para dados em área, pois algumas vezes os relacionamentos topológicos não são importados corretamente, embora visualmente pareça que estes relacionamentos não apresentem erros. Para evitar isto, a atividade A.6 (Verificação e correção da integridade topológica) recomenda a utilização de ferramentas de correção da topologia, as quais são encontradas em alguns pacotes comerciais de SIG. A verificação topológica já é mais fácil de ser executada, pois consiste de testes simples conforme o formato do dado. Em caso de pontos, após georeferenciados, deve-se observar se o endereço da ocorrência do acidente está no local correto na base de logradouros. Para dados em áreas, deve-se elaborar a matriz de

conectividade ou de proximidade espacial, observados os valores apresentados em cada célula da matriz.

5.3.2. Análise exploratória em áreas

A análise exploratória em áreas possui como objetivo obter uma caracterização espacial sistêmica sobre as condições da segurança de tráfego de uma localidade (estado, município, etc.), identificando áreas críticas, dependências e tendências espaciais de crescimento, dentre outras funções. As atividades descritas a seguir almejam atingir estes objetivos.

A atividade B.1 (Visualização espacial) consiste em visualizar a distribuição espacial dos acidentes para identificar as áreas críticas de acidentes, usando os diversos tipos de mapas gerados que estão disponíveis na maioria dos pacotes comerciais de SIG. Se o índice de acidentes for relativo, recomenda-se visualizar inicialmente o índice de frequência com o intuito de obter uma descrição espacial do fenômeno isoladamente e depois comparar com os mapas gerados usando os índices relativos. Vale lembrar também que caso se deseje comparar valores em diferentes períodos, os mapas gerados com intervalos de classes iguais são os mais adequados. Nesta atividade, deve-se retirar valores sem observação ou espúrios para não influenciar o cálculo das estatísticas espaciais.

A atividade B.2 (Identificação de tendências espaciais de crescimento) consiste em visualizar a evolução e as tendências espaciais de crescimento dos acidentes por meio da ferramenta de média móvel espacial. Do mesmo modo que na atividade anterior, recomenda-se usar os mapas gerados com intervalos de classes iguais, caso se deseje comparar valores em diferentes períodos.

Na atividade B.3 (Identificação de regiões de transição), o diagrama de espalhamento de Moran é usado para identificar as áreas de regime espacial positivo (classe Q1), negativo (classe Q2) e de transição (classes Q3 e Q4), permitindo também identificar áreas com valores extremos, também denominados de *outliers*.

As estatísticas espaciais globais são calculadas na atividade B.4 (Concentração espacial global) para constatar o tipo de distribuição espacial dos índices de acidentes.

Estes cálculos também podem ser usados para comparar diferentes períodos em relação ao grau de concentração espacial.

A atividade B.5 (Concentração espacial local) calcula as estatísticas espaciais locais, identificando e classificando as áreas conforme o nível de significância da correlação espacial dos índices de acidentes, usando o *Lisa Map* e o *Moran Map*.

5.3.3. Análise de padrões pontuais

Esta etapa está subdividida em três atividades. Apenas as atividades A.1, A.5 e A.6 da etapa de preparação da base de dados são necessárias para executar esta análise, que pode ser realizada em pacotes estatísticos espaciais.

A atividade C.1 (Análise da distribuição espacial e temporal dos acidentes) analisa a distribuição temporal do total de acidentes, tanto em relação à distribuição horária quanto à distribuição anual, usando o índice do vizinho mais próximo para demonstrar que o espaço e o tempo são fatores importantes nos estudos de segurança viária. Esta atividade também auxilia na identificação de locais críticos.

Na atividade C.2 (Análise da distribuição espacial e temporal do total de acidentes em relação a variáveis socioeconômicas) é apresentada uma análise espacial temporal usando a ferramenta da elipse de desvio padrão para comparar a distribuição espacial dos acidentes com a distribuição dos centróides das zonas de análise de tráfego, ponderados por variáveis socioeconômicas.

A atividade C.3 (Análise da distribuição espacial dos tipos de acidentes) descreve e compara geograficamente os tipos de acidentes (natureza, severidade e vítimas) usando os índices do vizinho mais próximo e as áreas de elipse de desvio padrão, proporcionando caracterizações espaciais sistêmicas sobre a situação da segurança segundo a tipologia dos acidentes.

A aplicação da técnica hierárquica de agrupamento do vizinho mais próximo é realizada na atividade C.4 (Caracterização dos índices de acidentes e suas linhas de atuação) para caracterizar o índice de frequência de acidentes, identificando locais críticos de acidentes. Esta caracterização está subdividida em três seções para demonstrar a aplicação da técnica, conforme a linha de atuação. Pretende-se também

verificar se os agrupamentos gerados fornecem os mesmos resultados obtidos por um banco de dados ao apresentar a lista de locais críticos, diagnosticando as vantagens/desvantagens de usar as técnicas de agrupamento. Ao final desta seção apresenta-se uma análise de sensibilidade dos critérios usados por esta técnica de agrupamento.

5.4. PREPARAÇÃO DA BASE DE DADOS

Esta seção inicia a aplicação da metodologia usando os dados de acidentes disponibilizados pela AMC. A atividade A.1, Georeferenciamento, já foi discutida e apresentada conforme os procedimentos descritos no Capítulo 4 e, por esse motivo, não está descrita a seguir.

5.4.1. Definição da unidade de análise de área

Dentre os várias unidades de área disponíveis, foi selecionada a unidade de zonas de tráfego porque, além de conter múltiplas variáveis relacionadas a problemas de transportes, também se apresentou como o mais adequado para a visualização dos objetivos deste estudo. Como a camada de zonas e a camada de bairros têm subdivisões muito semelhantes, a descrição das zonas usará a denominação dos bairros quando necessário.

5.4.2. Agregação dos acidentes georeferenciados no formato de área selecionado

Para realizar esta atividade, foi usado o pacote comercial de SIG denominado de *TransCAD 3.0*, seguindo estes passos: inseriu-se uma coluna na tabela de associação da camada de zonas e depois foi realizada a sobreposição de camadas, também conhecida como *overlay*, para calcular a quantidade de acidentes contidos em cada unidade de área. Este procedimento foi executado tanto para os acidentes ocorridos em 2001, como em 2002.

Antes de realizar este cálculo, foi verificado que as camadas de zonas e logradouros não se sobrepunham exatamente nos limites viários estabelecidos pela definição das zonas, ocorrendo pequenas distorções em algumas áreas. Tal fato ocasionou um pequeno erro que não influenciou significativamente os resultados.

5.4.3. Definição e cálculo do índice de acidentes

Para compreender este fenômeno geograficamente usando as ferramentas de análise exploratória, recomenda-se selecionar um índice que reduza a influência do tamanho da área. Para isto, sugere-se a utilização de índices relativos que, assim como podem explicar a ocorrência do fenômeno, algumas vezes podem distorcer sua explicação. Por este motivo, recomenda-se visualizar a distribuição espacial do índice de frequência para obter uma visão espacial do fenômeno dos acidentes, sem a influência das variáveis de base.

Qualquer variável de base, seja relacionada à dimensão física (quilometragem viária, área quadrada) seja relacionada a algum outro atributo da área (população, veículos registrados, dentre outros), a princípio poderá ser usada. Entretanto, ao comparar o grau de correlação entre acidentes e as demais variáveis, os atributos relacionados à dimensão física apresentaram o menor valor, que pode melhor caracterizar a heterogeneidade do fenômeno dos acidentes no município de Fortaleza. Por este motivo, propõe-se neste trabalho o uso do índice da quantidade de acidentes por quilômetro da malha viária contida em cada unidade de área selecionada.

A quantidade de quilômetros foi obtida usando a ferramenta de sobreposição de camadas, *overlayer*. Este cálculo também foi prejudicado pelo fato das camadas de zonas e logradouros não se sobreporem nos limites viários exatos estabelecidos para a definição das zonas, sem também influenciar significativamente os resultados.

O índice acima citado foi calculado inserindo mais uma coluna na tabela de associação da camada de zonas, para em seguida multiplicar a quantidade de acidentes por cem e depois dividir pelo campo da quantidade de quilômetros. Optou-se por multiplicar por 100 para facilitar as comparações entre as zonas, evitando razões menores do que um.

5.4.4. Importação dos dados para uma plataforma comum

A importação de dados para uma plataforma comum consistiu em importar a base de dados para um pacote computacional que calculasse as estatísticas espaciais, conforme os objetivos da análise.

Para atingir os objetivos propostos para a análise exploratória em áreas foi usado o pacote *SPRING* versão 3.06.03 (INPE, 2003), elaborado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Este pacote foi selecionado por estar disponibilizado gratuitamente na *Internet*, e por conter várias ferramentas de análise e estatística espacial, tais como o índice do vizinho mais próximo, o estimador de densidade de Kernel e a função K para a análise de padrões pontuais, assim como as várias ferramentas necessárias para a geoestatística (variograma, ajustes de modelos, dentre outras). Embora o uso maior deste programa seja para análise de dados em estrutura *raster*, esta versão tem funções de análise de estrutura vetorial, como as ferramentas de seleção e manipulação da análise espacial, possibilitando a elaboração de diversos tipos de mapas temáticos. Um módulo que pode ser aplicado à engenharia de transportes é o módulo de suporte à decisão (AHP - Processo Analítico Hierárquico), que compara e avalia as diferentes possibilidades de geração de novos mapas, auxiliando a organizar e estabelecer um modelo racional de combinação de dados. Este pacote também contém uma linguagem de programação interna que permite a elaboração de rotinas específicas conforme o objetivo do usuário.

Um problema observado nesta versão relaciona-se com o elevado tempo de processamento para o cálculo das estatísticas espaciais de dados em áreas, quando a região de estudo encontra-se bastante subdividida, tal como os setores censitários do município de Fortaleza. Em contato com o INPE, obteve-se a resposta de que a próxima versão terá componentes que permitirão a redução do tempo de análise nestes casos. Outro problema está relacionado ao uso do termo normalizado, que considera apenas a diferença entre o valor do atributo de uma área e a média dos valores de todos os atributos, sem dividir pelo desvio padrão. Sugere-se usar o termo desvios em relação à média.

Para alcançar os objetivos propostos para a análise de padrões pontuais, foi usado o pacote de estatística espacial *CrimeStat versão 2.0* (NIJ, 2002), desenvolvido por Ned & Levine para o Ministério da Justiça nos Estados Unidos. Este pacote contém estatísticas espaciais descritivas, tais como centro médio e elipse de desvio padrão, e também estatísticas inferenciais, como o índice do vizinho mais próximo e as técnicas de agrupamentos. Este pacote exige os seguintes dados de entrada: uma tabela com as coordenadas dos pontos e os valores da área da região de estudo e da quilometragem

viária, os quais são necessários para o cálculo de algumas estatísticas espaciais. Os dados de saída são numéricos e gráficos. Os resultados gráficos podem ser exportados para pacotes comerciais de SIG, em diversos formatos de arquivo. No presente trabalho foi usado o pacote *Arcview* versão 3.0 (ESRI, 1996).

5.4.5. Verificação e correção da integridade topológica

Esta atividade, no caso da análise exploratória de dados em áreas, foi executada usando a rotina de verificação e correção topológica disponível no pacote de SIG SPRING, que retirou fragmentos duplicados e verificou as relações topológicas entre as áreas.

No caso de análise de pontos, verificou-se apenas se as localizações georeferenciadas estavam alocadas corretamente na malha viária. Deve-se lembrar que os resultados apresentados são influenciados pela quantidade de acidentes georeferenciados (71% e 73% do total de acidentes em 2001 e 2002, respectivamente).

5.5. ANÁLISE EXPLORATÓRIA EM ÁREAS

Esta análise tem como objetivo compreender melhor a ocorrência do fenômeno dos acidentes de trânsito, identificando áreas críticas, tendências espaciais de crescimento e verificando as concentrações espaciais e locais dos acidentes.

5.5.1. Visualização espacial

A distribuição dos acidentes por zonas está apresentada na Figura 5.2. Observa-se que a zona crítica de acidentes em 2001 encontrava-se no bairro Centro, que teve 872 acidentes. As outras zonas pertencentes às classes com maiores valores localizavam-se no bairro Aldeota e Meireles, bem próximos ao bairro Centro, podendo caracterizar este conjunto de bairros como região crítica de acidentes, sendo que esta expressão será usada no decorrer do trabalho para caracterizar estes bairros. Comparando com 2002, observa-se que o bairro Aldeota passou para uma classe superior e que está havendo uma tendência de crescimento de acidentes para a região sudoeste da cidade, no sentido do bairro Bom Sucesso. Pode-se notar também que o bairro Vila Velha na região oeste da cidade, passou para uma classe superior.

Os mapas da Figura 5.3 apresentam as zonas classificadas pelo índice de acidentes por quilômetro, nos quais pode-se observar que as zonas com índices elevados

estão localizadas na região central da cidade. Isto pode ser justificado pela concentração das atividades de comércio e serviço que atraem um elevado volume de tráfego veicular e de pedestres para esta região. Observa-se também que aparecem zonas de área reduzida (zonas 131 e 53) com índices elevados, representando dois *shoppings centers* da cidade. Tal ocorrência deve-se ao fato de que, por terem uma área muito reduzida em relação às demais áreas, qualquer acréscimo de acidentes representará um elevado acréscimo neste índice. Este problema pode ser solucionado com os estimadores bayesianos. Para mais detalhes sobre este problema, consultar CÂMARA *et al.* (2000b).

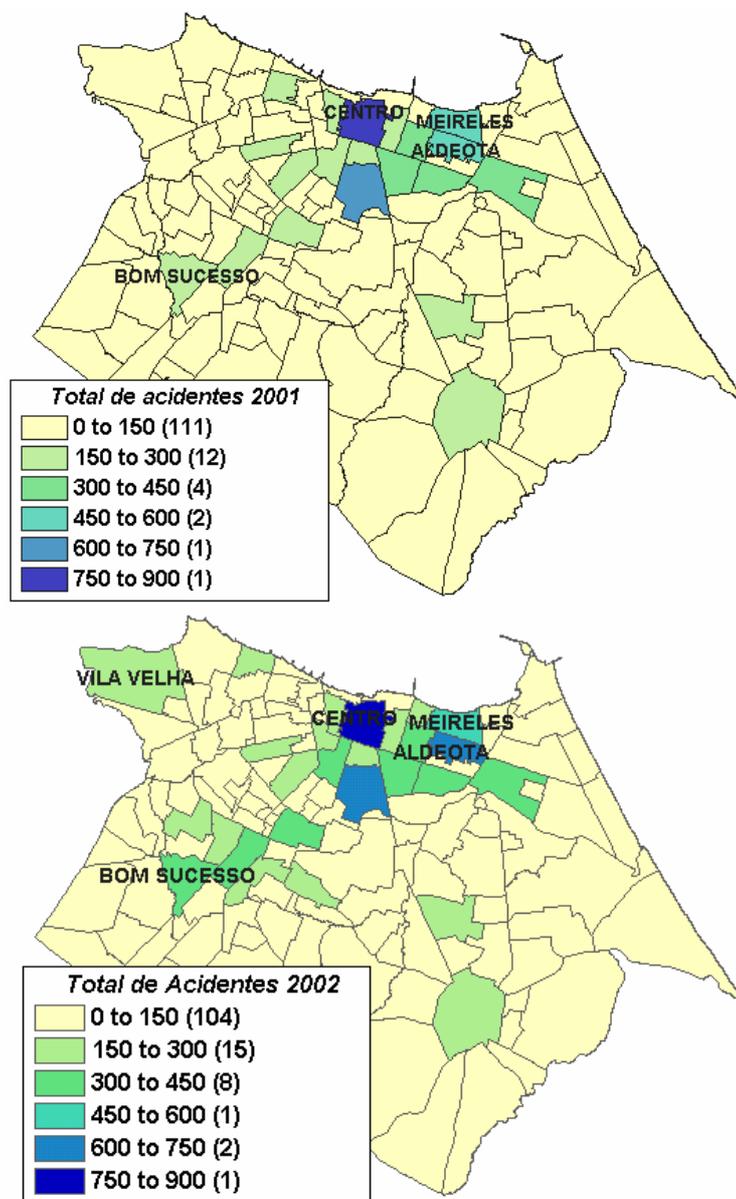


Figura 5.2: Quantidade de acidentes por zona de análise de tráfego.

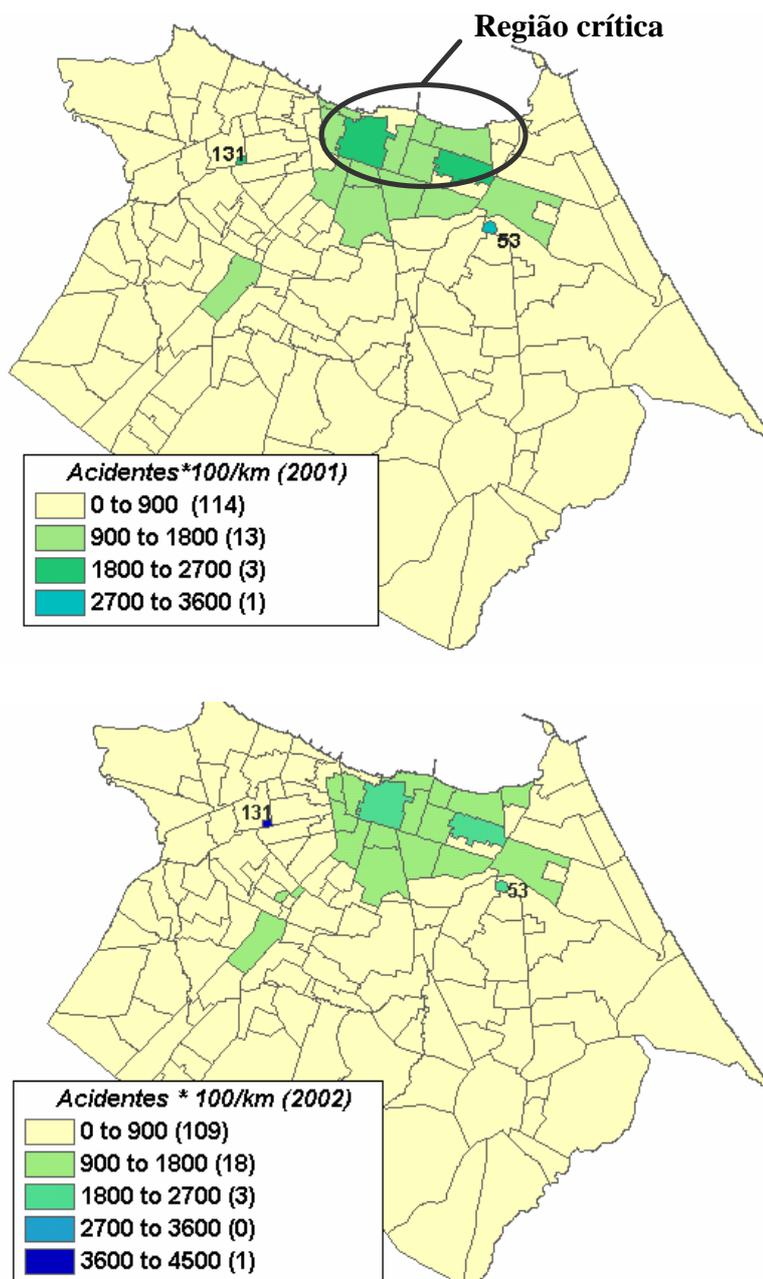


Figura 5.3: Índice de acidentes/km usando intervalo de classes iguais.

Os mapas com intervalos de classes iguais foram utilizados para comparar a distribuição espacial em dois períodos diferentes. A maior parte das observações pertenceram à classe de 0 a 900 acidentes * 100/quilômetro, confirmando que este índice possui uma distribuição assimétrica acentuada para a direita. Outros tipos de mapas poderiam ser usados, porém não atenderiam ao objetivo. Como exemplo, tem-se o mapa cujos polígonos são alocados em quantidades iguais para cada classe, denominado de percentual, o qual dificulta a identificação de áreas críticas porque, ao dividir os polígonos em quantidades iguais por classe, as classes superiores poderão conter áreas com valores elevados e medianos de seus atributos. Como exemplo, na

Figura 5.4 teve-se de usar uma amplitude de 9.320 para representar a última classe, enquanto as demais classes usaram um intervalo máximo de 329. O mapa com intervalos de classes divididos conforme o desvio padrão realiza a distribuição da variável considerando valores acima e abaixo da média. Este tipo de mapa tem a deficiência de subdividir o intervalo de valores em muitas classes para apresentar as classes muito distantes da média quando a distribuição é assimétrica, como é o caso dos acidentes. A Figura 5.5, por exemplo, teve de ser subdividida em seis classes para que a zona de valor extremo (131) fosse classificada no mapa.

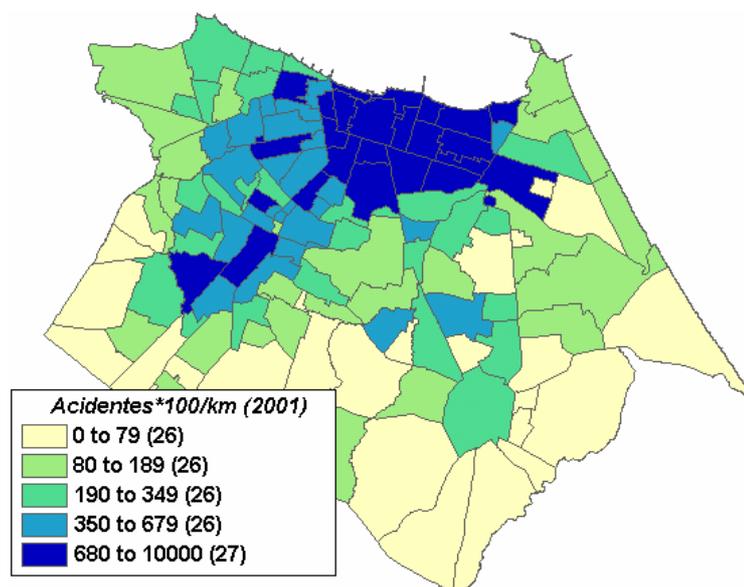


Figura 5.4: Índice de acidentes/km usando intervalos de classes percentuais.

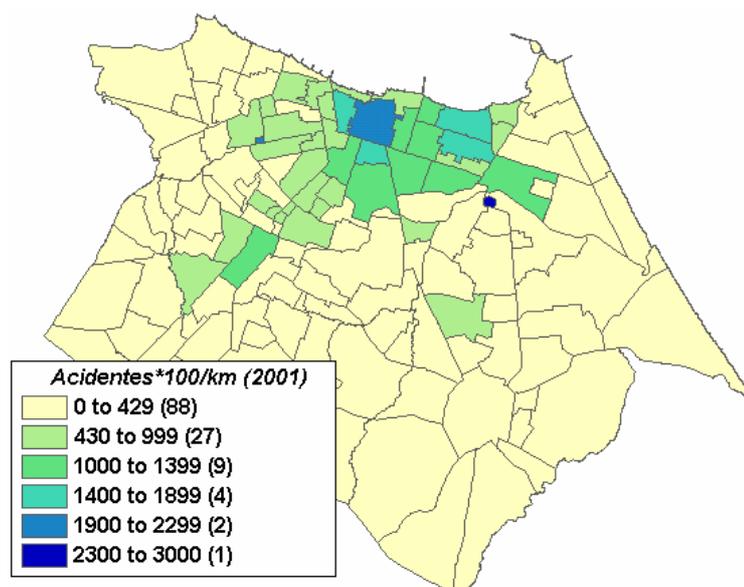


Figura 5.5: Índice de acidentes/km usando intervalos divididos conforme desvio padrão

5.5.2. Identificação das tendências espaciais de crescimento

Os mapas da Figura 5.6 confirmam a concentração do índice de acidentes na região central da cidade; porém, com dispersão maior em 2002 do que em 2001, já que algumas áreas fora da região central passaram para um intervalo de classe maior. Pode-se observar que os acidentes têm uma tendência de crescimento da região central da cidade para as zonas periféricas. Observa-se também que houve uma expansão do índice de acidentes para a zona sudoeste da cidade em 2002, nas quais se localizam dois importantes corredores de tráfego: Av. José Bastos e Av. João Pessoa.

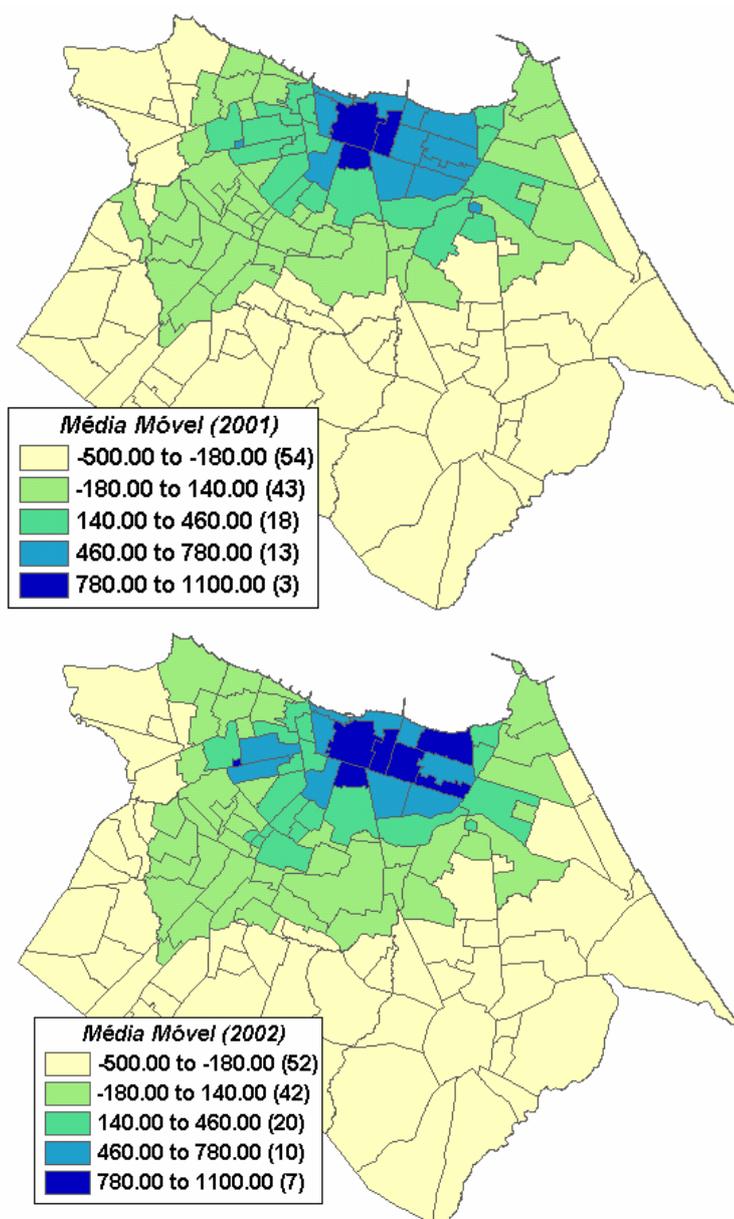


Figura 5.6: Média móvel do índice de acidentes/km em 2001 e 2002.

Observa-se também que as zonas da região central influenciaram o aumento dos valores da vizinhança, o que ocasionou uma homogeneidade de valores nas proximidades desta região. Deve-se lembrar que algumas classes da Figura 5.6 são negativas porque o valor do atributo em cada área é representado como a diferença entre o valor do atributo e a média deste atributo na região de estudo.

A vantagem da média móvel em relação à visualização espacial dos acidentes, apresentada na Figura 5.3, relaciona-se com uma melhor identificação de agrupamentos de áreas críticas e da tendência espacial de crescimento do índice de acidentes. Isto resulta do fato de que esta ferramenta modifica os valores de cada atributo conforme os valores dos vizinhos, ou seja, se uma área possui um reduzido índice de acidentes, mas os seus vizinhos possuem valores elevados, o índice de acidentes desta área passará a ser representado pela média aritmética destes índices.

5.5.3. Identificação de regiões de transição

Na Figura 5.7, as zonas de associação espacial positiva (classe Q1), ou seja, zonas cujos valores normalizados são positivos, possuindo zonas vizinhas com média positiva de valores normalizados, também confirmam a concentração de acidentes na região central. Os dois mapas também permitem visualizar mais claramente a tendência de crescimento dos acidentes para a direção sudoeste confirmando aquilo já apontado pela análise da média móvel. Com o auxílio desta ferramenta, pode-se observar também uma tendência de crescimento para a região noroeste da cidade, influenciada principalmente pelo corredor da Av. Bezerra de Menezes e Av. Mister Hull que, além de apresentar um elevado volume de tráfego, possui muitos conflitos envolvendo veículos e pedestres.

As zonas periféricas apresentaram associações espaciais negativas (classe Q2), ou seja, áreas cujos valores normalizados são negativos possuindo áreas vizinhas com médias de seus valores normalizados também negativas. Estas zonas, em sua maioria, são residenciais e possuem um menor grau de circulação de tráfego em relação à região central. Os regimes espaciais de transição (classes Q3 e Q4), que contém áreas cujos valores normalizados possuem sinal oposto ao da média dos valores normalizados dos vizinhos, apresentam uma tendência de crescimento em todas as direções da cidade, quando são comparados os valores de 2002 com valores de 2001.

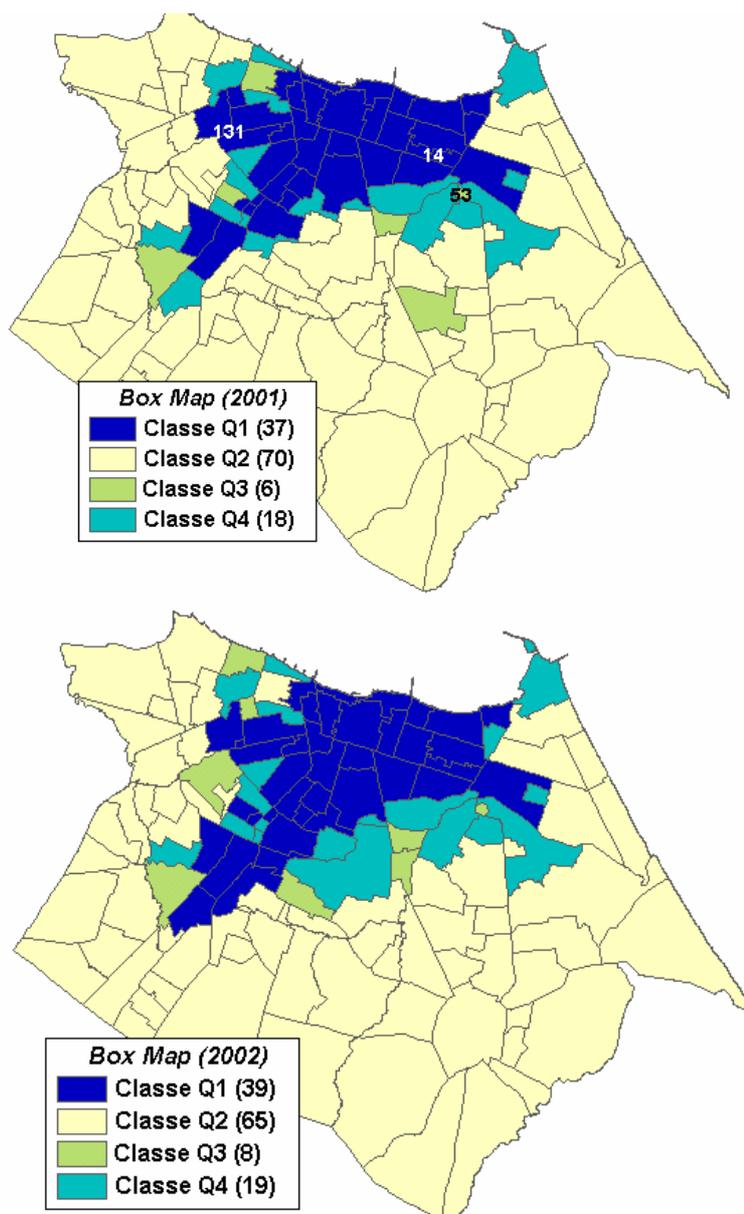


Figura 5.7: Diagrama de espalhamento de Moran do índice de acidentes/km em 2001 e 2002.

Ao consultar o gráfico do espalhamento de Moran, para os anos de 2001 e 2002, as zonas 53, 131 e 14 caracterizaram-se como áreas que apresentam valores discrepantes de sua vizinhança homogênea, *outliers*, ou seja, valores elevados numa vizinhança de valores reduzidos, ou ainda valores reduzidos entre valores elevados. Em relação às conclusões obtidas com as ferramentas anteriores, o diagrama de espalhamento de Moran apontou mais algumas tendências espaciais de crescimento e possibilitou também identificar regiões espaciais de transição.

5.5.4. Concentração espacial global

Antes de analisar os dados, não foi encontrado qualquer valor espúrio ou nulo nas zonas que pudessem comprometer as análises. O pacote SPRING disponibiliza o índice global de Moran, o qual apontou com significância de 99,9%, após 999 permutações, a existência de um padrão de autocorrelação espacial. Este padrão indicou uma maior concentração dos acidentes em 2001, apresentando um valor de 0,438; enquanto em 2002, o índice registrado foi de 0,375. Isto indica que os acidentes estão se tornando um fenômeno de difícil tratamento porque eles se tornaram mais dispersos em 2002. Isto pode significar que o órgão gestor não tenha sido eficiente ao alocar medidas de redução de acidentes, talvez por ter executado várias medidas em uma área específica e realizado poucas atividades em outras áreas que também apresentavam muitos acidentes.

Os valores descritos acima indicam que os acidentes são eventos geográficos dependentes porque os valores do índice de Moran identificam concentração espacial, o que impossibilita o uso de muitos modelos estatísticos tradicionais que pressupõem a independência entre os eventos observados.

5.5.5. Concentração espacial local

As conclusões desta análise são obtidas observando os mapas da Figura 5.3 e da Figura 5.8. Pode-se notar que as zonas que possuem dependência espacial significativa, ou seja, zonas que possuem o índice local de Moran com significância de 95% (classe 1), 99% (classe 2) e 99,9% (classe 3), encontram-se tanto na área central (elevados índices de acidentes), quanto na periferia da cidade (baixos índices de acidentes). Esta significância maior nos bairros da Lagoa Redonda e Messejana, localizados na periferia, representa que o índice reduzido de acidentes nesta área possui um forte relacionamento com as características espaciais desse local, tais como volume de tráfego reduzido e pequena extensão da malha viária.

Com significância um pouco menor, 99%, pode-se notar que existem várias zonas localizadas próximas à região crítica de acidentes, em ambos os anos, sendo que em 2001 havia uma quantidade um pouco maior de zonas. Tal fato confirma o que foi detectado pelo índice global de Moran, o qual apresentou maior concentração de acidentes em 2001. Em 2002, a região periférica da cidade, além de aumentar a

quantidade de zonas com significância estatística, também registrou zonas que tiveram sua significância estatística elevada em relação a 2001, podendo significar que as características de tráfego daquelas áreas estão influenciando os índices de acidentes.

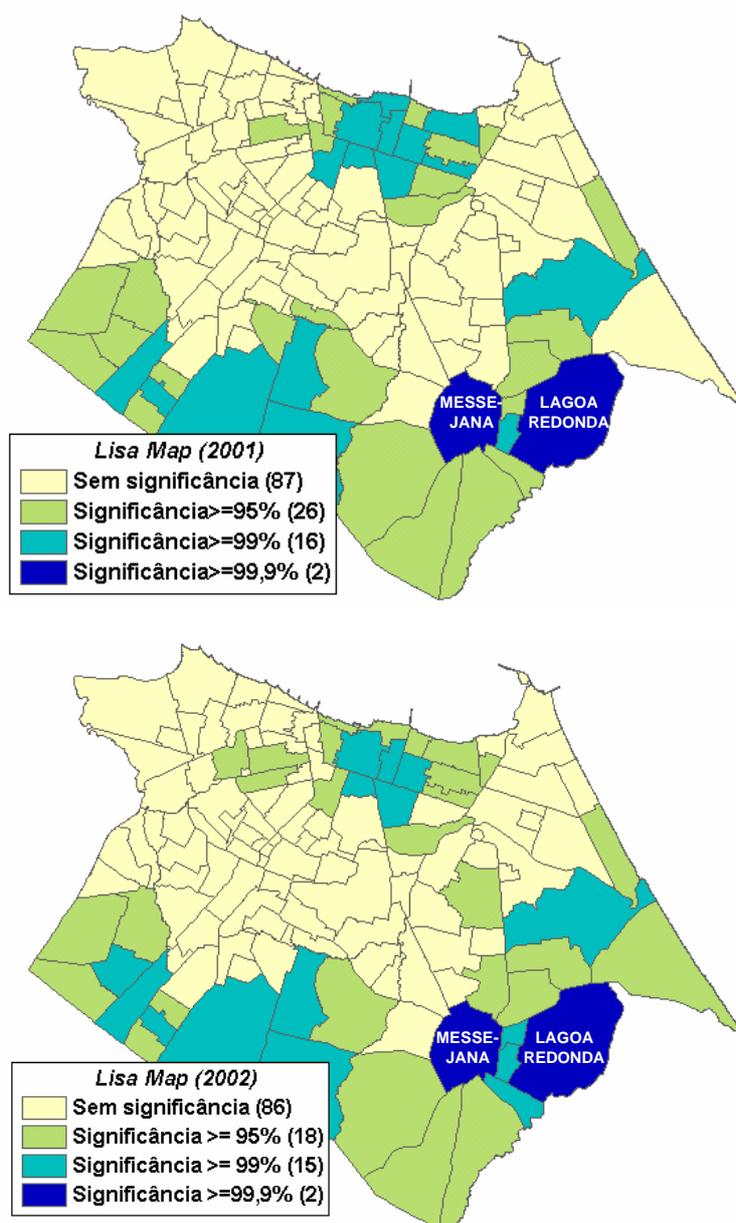


Figura 5.8: Índice local de Moran do índice de acidentes/km em 2001 e 2002.

Ao visualizar o *Moran Map*, na Figura 5.9, pode-se identificar que a classe 1, representante das zonas com relação espacial positiva (classe Q1 na Figura 5.7) e com significância espacial (significâncias de 95%, 99% e 99,9% na Figura 5.8), está localizada na região central, indicando que ela é a área crítica de acidentes da cidade. A classe 2 contém as zonas com relação espacial negativa (classe Q2 na Figura 5.7) e com significância espacial, indicando que os reduzidos índices de acidentes nestas áreas

estão associados às suas características de tráfego. As zonas com relação espacial de transição (classes Q3 e Q4 na Figura 5.7), e com significância espacial, tiveram poucas ocorrências. A classe 3 não aparece na Figura 5.9 porque nenhum valor pertencente à classe Q3 (ver Figura 5.7) teve significância espacial. As demais zonas pertencem à classe 0 (sem significância espacial).

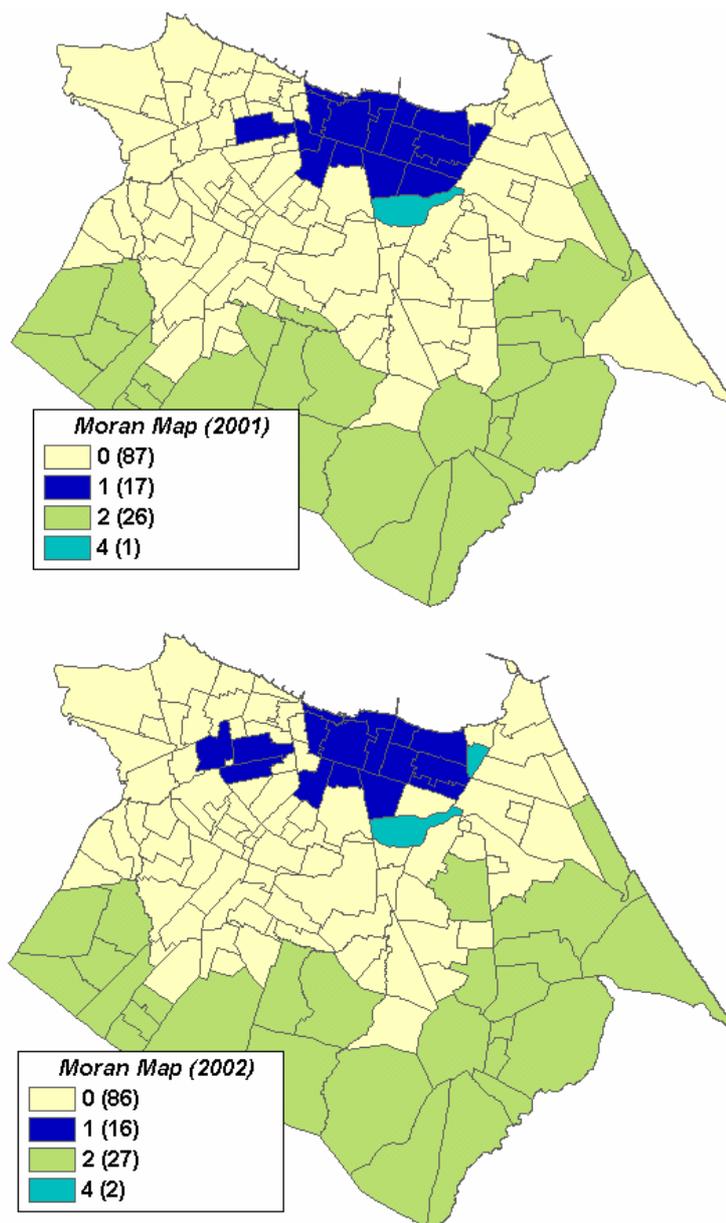


Figura 5.9: Moran Map do índice de acidentes/km em 2001 e 2002.

5.6. ANÁLISE DE PADRÕES PONTUAIS

Esta análise possui como objetivo calcular as estatísticas espaciais para caracterizar as concentrações espaciais e temporais, além de caracterizar as linhas de atuação do índice de frequência de acidentes.

5.6.1. Análise da distribuição espacial e temporal dos acidentes

Para analisar a distribuição temporal em relação ao total de acidentes em 2001 e 2002 foi usado o índice do vizinho mais próximo. Os dias da semana foram agrupados em: semana (segunda a sexta) e fim de semana (sábado e domingo).

Analisando-se os gráficos da Figura 5.10, percebe-se que os acidentes estão mais concentrados durante a semana do que no final de semana, tanto em 2001 quanto em 2002, com exceção de algumas horas. Tal fato se justifica porque o trabalho e o estudo são os principais motivos de viagem durante a semana e estas atividades se concentram na região crítica de acidentes (região central) enquanto no final de semana, as viagens são originadas por outros motivos que estão mais dispersos pela cidade, como lazer e compras, por exemplo.

A média do índice do vizinho mais próximo durante a semana em 2001 e 2002, 0,60 e 0,63 respectivamente, indicam que os acidentes apresentaram maior dispersão em 2002, comprovando os resultados obtidos com a análise exploratória espacial em áreas.

Os acidentes que ocorrem entre 0 e 8 horas, e após as 20 horas, apresentam índices de dispersão aproximados durante a semana e durante o final de semana, ou seja, nesta faixa horária eles se encontram dispersos pela cidade, independente do dia da semana. Esta dispersão pode ser resultado da variedade de motivos de realização de viagens neste horário. A média neste intervalo apresentou os mesmos valores para a semana e para o final de semana em 2002, sendo que em 2001 os acidentes foram mais dispersos durante os finais de semana.

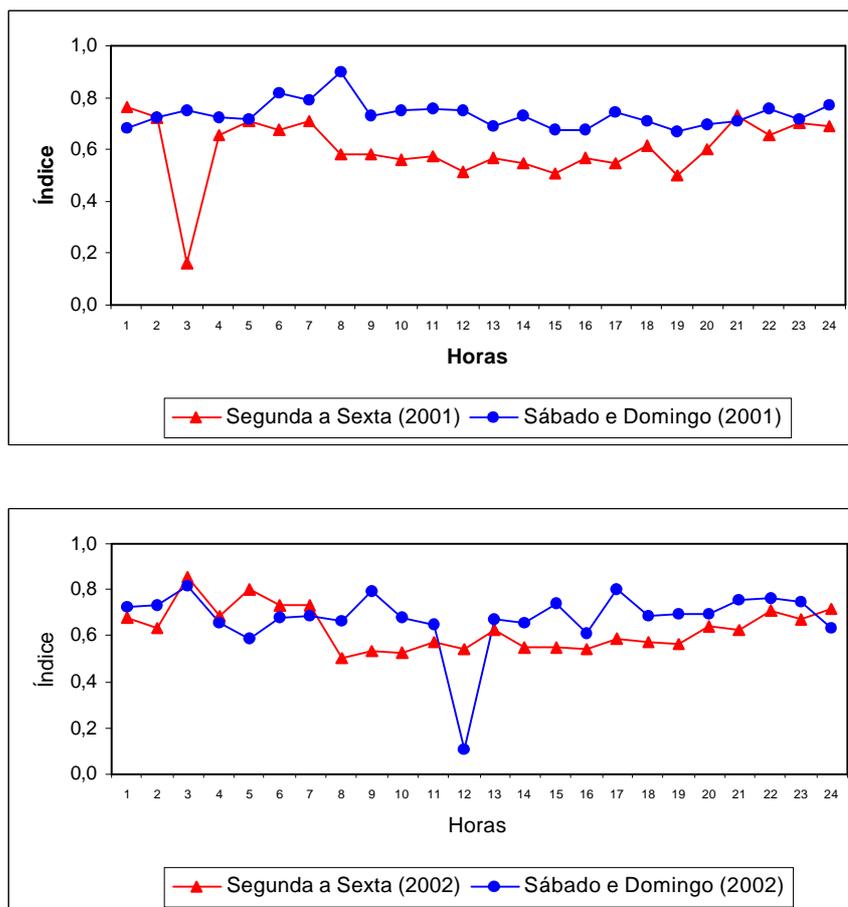


Figura 5.10: Índice do vizinho mais próximo em 2001 e 2002.

A presença de valores atípicos na Figura 5.10 merece uma investigação mais detalhada, pois pode ser um indício de locais críticos de acidentes na cidade. Analisando os acidentes que ocorreram entre 2 e 3 horas da manhã, de dias úteis em 2001, na qual foram detectados oito acidentes na Av. Duque de Caxias, na R. Antonio Pompeu e na R. Meton de Alencar que ocorreram em quadras bem próximas, embora em datas com diferenças de 3 meses em média. Outro exemplo ocorreu em 2002, às 12 horas dos finais de semana, quando houve uma concentração de acidentes, embora em meses diferentes, em avenidas distantes dos principais dos pólos de lazer da cidade, como Av. Bezerra de Menezes e Av. Antonio Sales, mas que são alguns dos principais corredores usados para acessar ou retornar a estes pólos de lazer.

5.6.2. Análise da distribuição espacial e temporal do total de acidentes em relação a variáveis socioeconômicas

Para analisar a distribuição espacial e temporal dos acidentes em relação a variáveis socioeconômicas, foram usadas as áreas das elipses das variáveis população e

emprego, que apresentaram as áreas máximas e mínimas em relação a outras variáveis. Enquanto os acidentes consideraram uma variação horária, estas variáveis socioeconômicas foram usadas sem variação ao longo do dia. O cálculo desta área usou o centróide de cada zona de análise de tráfego como ponto representativo, ponderada pela variável socioeconômica.

Na Figura 5.11, durante a semana, entre 0 e 6 horas, pode-se observar que a distribuição dos acidentes é muito semelhante à distribuição de empregos nos dois períodos. Entre 6 e 17 horas, a distribuição dos acidentes torna-se mais concentrada que a distribuição de empregos, podendo significar que os acidentes ocorrem nas zonas que disponibilizam mais empregos na cidade. Com o decorrer do dia, a distribuição dos acidentes volta a apresentar a mesma distribuição dos empregos. Durante o final de semana, pode-se observar que os acidentes são mais similares à distribuição de empregos até às 12 horas, aproximando-se da distribuição da população no restante do dia.

Deve-se lembrar que o percentual de georeferenciamento pode estar afetando a distribuição dos acidentes, já que muitos acidentes não georeferenciados localizavam-se em zonas com elevada população na periferia da cidade. Se estes acidentes estivessem georeferenciados, provavelmente a distribuição dos acidentes seria mais próxima à distribuição da população em alguns horários.

5.6.3. Análise da distribuição espacial dos tipos de acidentes

A Tabela 5.1 apresenta o índice do vizinho mais próximo e os percentuais de georeferenciamento segundo a severidade do acidente, sendo que os percentuais são mostrados porque afetam o resultado deste índice. Comparando os índices do vizinho mais próximo dos acidentes fatais de 2001 com os de 2002, observa-se que eles se dispersaram ainda mais, enquanto os outros tipos de severidade mantiveram-se quase estáveis. A Figura 5.12 comprova este fato ao mostrar que os acidentes com vítimas fatais apresentam a área da elipse de desvio padrão mais ampla que a área dos demais tipos de severidade. Isto pode ser justificado porque estes acidentes ocorrem em vias de maior velocidade, as quais se encontram dispersas pela cidade.

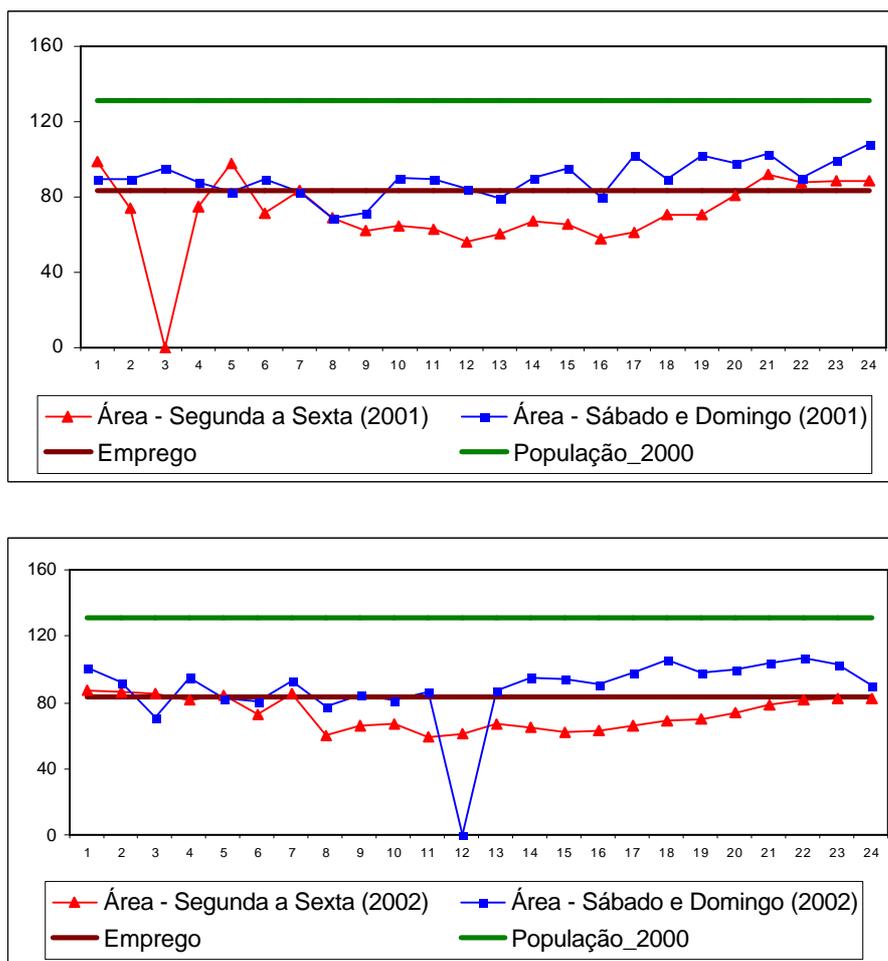


Figura 5.11: Distribuição dos acidentes e das variáveis socioeconômicas em 2001 e 2002.

Tabela 5.1: Índice do vizinho mais próximo para a severidade dos acidentes.

Severidade do acidente	Total		% Georeferenciamento		Índice do vizinho mais próximo	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002
Vítima fatal	367	360	48,7%	51,1%	0,59	0,79
Vítima ferida por atropelamento	2235	2246	64,2%	69,8%	0,53	0,53
Vítima ferida	5191	6455	71,3%	76,7%	0,42	0,41
Sem vítimas	8992	10583	73,2%	71,7%	0,30	0,29

Observa-se também na Tabela 5.1 que os acidentes com vítimas fatais possuem o menor percentual de georeferenciamento, motivado principalmente pela ausência de numeração das esquinas na base de logradouros na periferia da cidade, onde estes acidentes possuem maior probabilidade de ocorrência devido à elevada velocidade desenvolvida pelos veículos e pela precária sinalização nestes logradouros. Algumas

medidas devem ser implementadas para melhorar a qualidade da informação sobre o endereçamento, proporcionando uma maior eficiência deste banco de dados para a engenharia de tráfego.

Pode-se verificar na Figura 5.12 que os acidentes sem vítimas possuem uma maior concentração espacial na região central da cidade, enquanto os outros dois tipos, acidentes com vítimas feridas e com vítimas feridas por atropelamento, possuem áreas semelhantes, pois a distinção entre eles baseia-se no tipo de acidente que originou a vítima ferida.

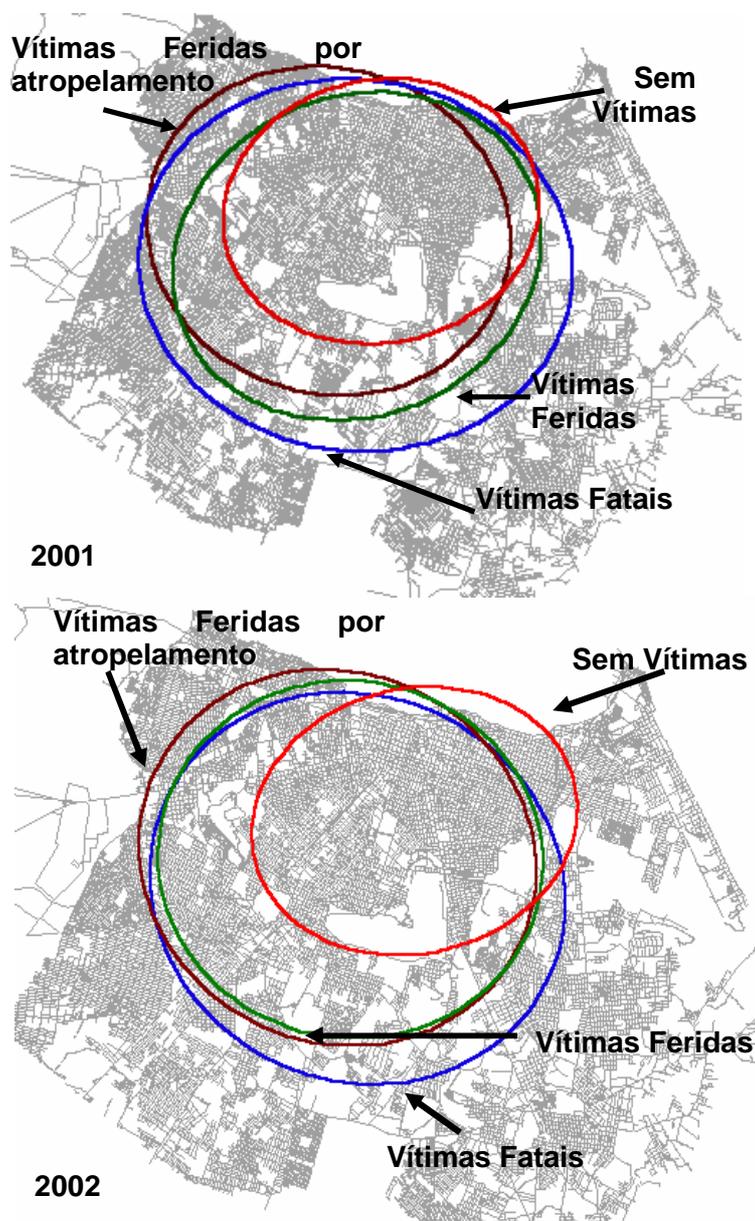


Figura 5.12: Elipses de desvio padrão da severidade dos acidentes em 2001 e 2002.

Os acidentes que envolvem vítimas pedestres e ciclistas estão mais dispersos que os acidentes com outros tipos de vítimas, pois possuem os maiores índices do vizinho mais próximo (Tabela 5.2). Pode-se observar também que houve um aumento do percentual de georeferenciamento em todos os tipos de vítimas de acidentes, destacando-se o percentual das vítimas ciclistas.

Tabela 5.2: Índice do vizinho mais próximo para os tipos de vítimas dos acidentes.

Tipo de Vítimas	Total		% Georeferenciamento		Índice do vizinho mais próximo	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002
Pedestres	2470	2458	62,1%	68,3%	0,53	0,54
Ciclistas	1103	1765	70,4%	77,2%	0,66	0,57
Condutores	9935	14314	74,9%	75,7%	0,32	0,28
Motoqueiros	3554	4551	72,6%	76,6%	0,48	0,42

A Tabela 5.3 demonstra que as colisões são os tipos de acidentes que mais ocorrem em Fortaleza e que possuem o maior percentual de georeferenciamento. Os capotamentos elevaram o seu percentual de georeferenciamento de 2001 para 2002, e também estavam mais agrupados em 2002. Na Figura 5.13, observa-se que os atropelamentos estão concentrados mais para a região oeste, enquanto as colisões concentram-se na região central, o que pode ser ocasionado pelas características da malha viária nesta região, que é bastante reticulada com a existência de muitos semáforos.

Tabela 5.3: Índice do vizinho mais próximo para a natureza dos acidentes.

Natureza do acidente	Total		% Georeferenciamento		Índice do vizinho mais próximo	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002
Atropelamento	2403	2391	62,5%	68,3%	0,52	0,53
Colisão	12750	15254	73,8%	73,7%	0,30	0,28
Colisão com objeto fixo	601	696	63,5%	69,4%	0,64	0,62
Capotamento	151	129	44,4%	54,3%	0,79	0,70

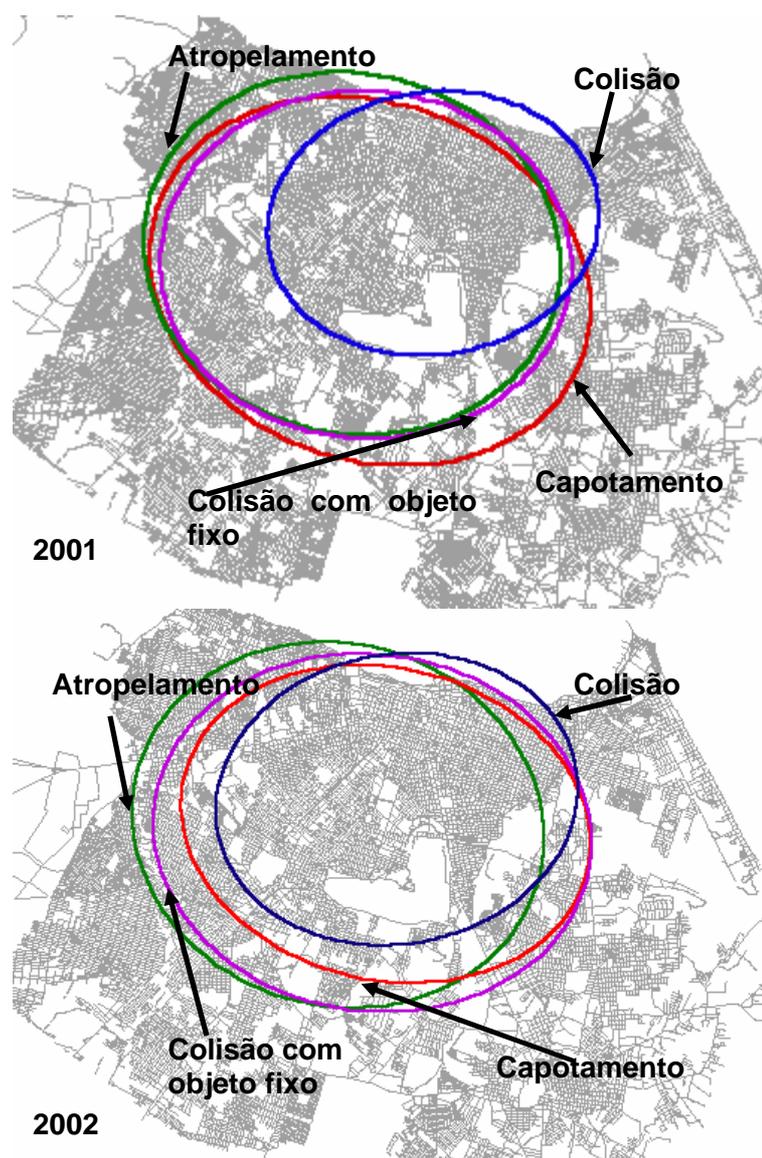


Figura 5.13: Elipses de desvio padrão do tipo de acidente em 2001 e 2002.

A Figura 5.14 demonstra que se pode caracterizar os acidentes na região central da cidade como colisões, envolvendo automóveis e, caso haja vítimas, estas são os condutores dos veículos, porque ao superpor as áreas de elipse de desvio padrão destas tipologias de acidentes, observa-se que eles possuem a mesma área e sentido de deslocamento do eixo maior da elipse, tanto em 2001 quanto em 2002.

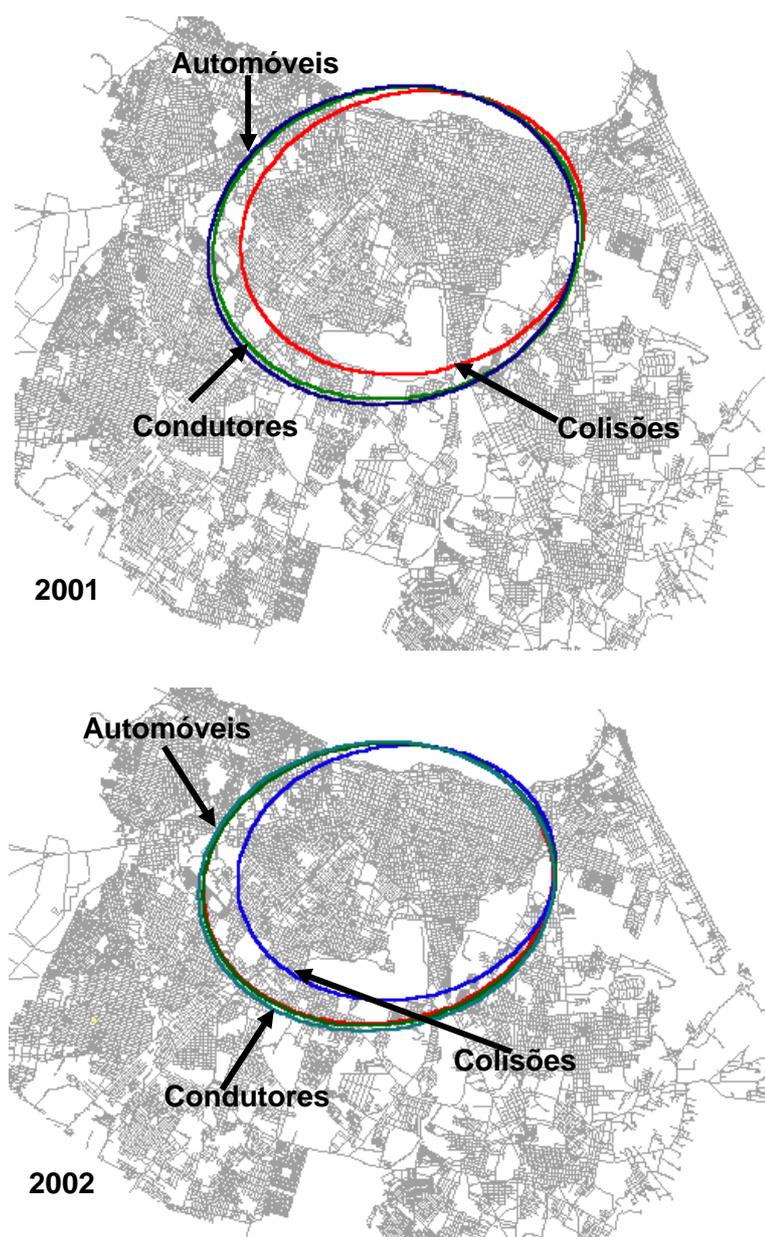


Figura 5.14: Superposição das tipologias dos acidentes em 2001 e 2002.

5.6.4. Caracterização dos índices de acidentes com a linha de atuação do local crítico

Esta seção apresenta a aplicação da técnica de agrupamento do vizinho mais próximo para caracterizar o índice de frequência de acidentes usando a linha de atuação do local crítico, em que os locais são identificados independentes de seus atributos. Apresenta também uma comparação entre a quantidade de acidentes em um determinado local, identificados por esta técnica, e o total de acidentes contabilizados usando um banco de dados, neste caso o SIAT-FOR.

A técnica de agrupamento contabiliza a quantidade de acidentes em um local considerando também os acidentes que ocorreram em uma área ao seu redor, sendo que o valor desta área é definido pela técnica. Para caracterizar a aplicação desta técnica, são usados os 11.903 acidentes georeferenciados de 2001 com seguintes critérios de entrada: valor de probabilidade unicaudal (valor de probabilidade p) igual a 10% e desvio padrão igual a 1. O outro critério, quantidade mínima de acidentes, verificado como o de maior influência na análise de sensibilidade dos critérios (apresentada na seção 5.6.7), será modificado no decorrer desta seção. A Figura 5.15 apresenta os 73 agrupamentos de 1ª ordem contendo no mínimo 20 acidentes, na qual se observa alguns agrupamentos com uma elipse maior ao redor da interseção, indicando a área e sentido de maior ocorrência, que foi considerada no somatório dos acidentes para aquele local.

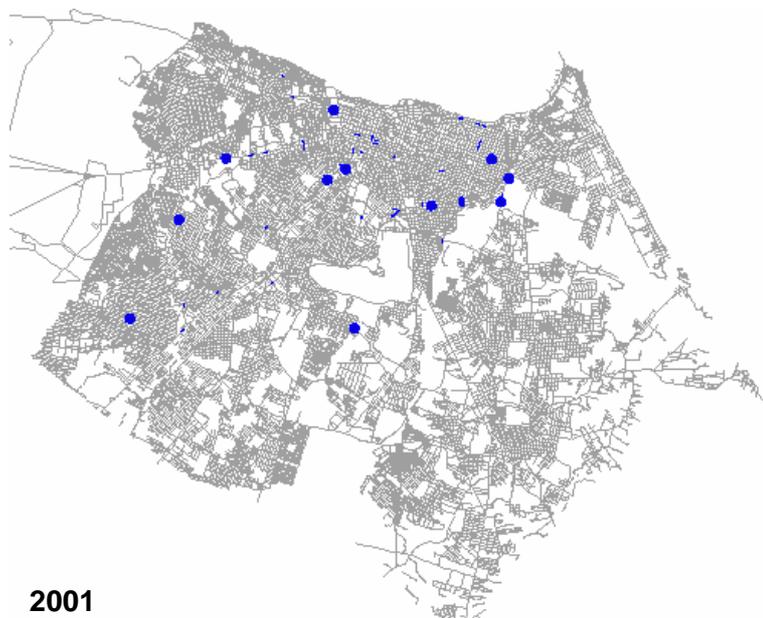


Figura 5.15: Agrupamentos de 1ª ordem do total de acidentes em 2001.

Em 2002, foram georeferenciados 14.296 acidentes, representando 72,5% do total de acidentes. A Figura 5.16 apresenta os 88 agrupamentos de 1ª ordem, para o total de acidentes em 2002, sendo usado os mesmos critérios dos agrupamentos de 2001. Esta maior quantidade de agrupamentos em relação a 2001 deve-se principalmente a elevação de 14,5% na quantidade de acidentes de um ano para o outro. Pode-se observar, comparando as Figuras 5.15 e 5.16, que os acidentes em 2002 tiveram os agrupamentos de 1ª ordem mais dispersos do que em 2001.

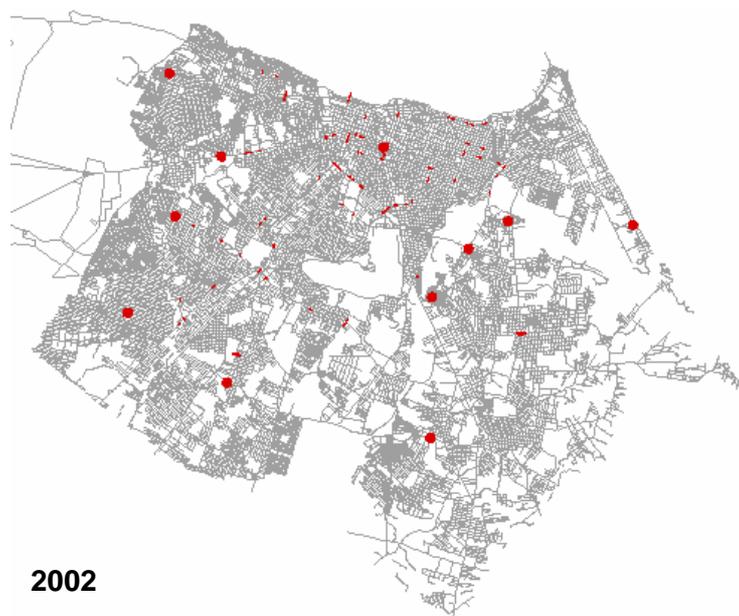


Figura 5.16: Agrupamentos de 1ª ordem do total de acidentes em 2002.

Ao comparar o total de acidentes das 5 interseções críticas contabilizados pelo SIAT-FOR, com o total de acidentes contabilizados para os agrupamentos de 1ª ordem em 2001 e 2002, observou-se que a técnica de agrupamento registrou mais acidentes em todas elas, motivada pelos seguintes fatos: registro de acidentes considerando uma área ao redor desta interseção; e registro de acidentes que ocorreram em um mesmo local, mas que possuem denominações diferentes no banco de dados (Tabelas 5.4 e 5.5). Observa-se também que a classificação em ordem decrescente do total de acidentes em 2001 e 2002 foi alterada ao aplicar a técnica de agrupamento. Com relação aos locais críticos de acidentes em trechos, observou-se que a ausência de numeração das esquinas na base de logradouros dificultou bastante a realização de comparações entre o total de acidentes em um local identificado pela técnica e o total de acidentes contabilizados para um local usando o SIAT-FOR.

Tabela 5.4: Análise comparativa entre o total de acidentes identificados pelo SIAT-FOR e pela técnica de agrupamento em 2001.

Interseções críticas	Total de acidentes		Motivos da maior quantidade identificada pela técnica
	SIAT-FOR	Técnica	
Av. Antonio Sales x Av. Eng. Santana Jr.	63	69	Contagem de 6 acidentes em trechos próximos à interseção
Av. Aguanambi x Av. Domingos Olímpio	58	71	Contagem de 12 acidentes em trechos próximos à interseção e de um acidente cadastrado com a outra denominação deste local: Av. Aguanambi x Av. Antonio Sales.
Av. Gal. Murilo Borges x Av. Dor. Raul Barbosa	53	61	Contagem de 8 acidentes cadastrados com a outra denominação deste local: R. Capitão Aragão x Av. Dor. Raul Barbosa
Av. Bezerra de Menezes x Av. Olavo Bilac	47	53	Contagem de 5 acidentes em trechos próximos à interseção e também de 1 acidente cadastrado com a outra denominação deste local: Av. Bezerra de Menezes x R. Amadeu Furtado.
Av. Aguanambi x Rd. BR-116	43	44	Contagem de mais um acidente em trecho próximo à interseção

Tabela 5.5: Análise comparativa entre o total de acidentes identificados pelo SIAT-FOR e pela técnica de agrupamento em 2002.

Interseções críticas	Total de acidentes		Motivos da maior quantidade identificada pela técnica
	SIAT-FOR	Técnica	
Av. Dom Luís e Av. Des. Moreira	54	58	Contagem de 4 acidentes em trechos próximos à interseção.
Av. José Bastos x R. Padre Cícero	41	42	Contagem de um acidente na outra denominação deste local: Av. Carapínima x R. Padre Cícero.
Av. Bezerra de Menezes x Av. Olavo Bilac	37	51	Contagem de 7 acidentes em trechos próximos à interseção e de 7 acidentes na outra denominação deste local: Av. Bezerra de Menezes x R. Amadeu Furtado
Av. 13 de Maio x Av. da Universidade	36	38	Contagem de 2 acidentes em trechos próximos à interseção.
Av. Imperador x Av. Domingos Olímpio	35	40	Contagem de 5 acidentes em trechos próximos à interseção.

A Figura 5.17 apresenta a interseção da Av. Gal. Murilo Borges com Av. Dor. Raul Barbosa, na qual se observa o agrupamento de 1ª ordem contendo os acidentes ao

redor desta interseção em 2001. A distância limite do vizinho mais próximo, calculada usando os critérios citados anteriormente e o valor da área da localidade de estudo, resultou em 81 metros, ou seja, um acidente pertencerá a um agrupamento se a distância do local de sua ocorrência até a interseção seja menor ou igual a 81 metros. Comparada com as distâncias observadas no item 2.5 do Capítulo 2, pode-se considerar que este é um bom critério para determinação das áreas de influência das interseções.

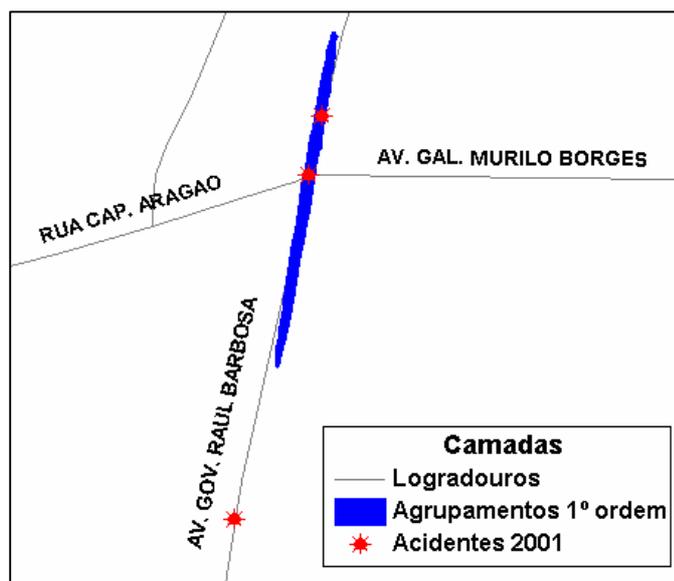


Figura 5.17: Visualização de um agrupamento 1ª ordem do total de acidentes em 2001.

A Figura 5.18 apresenta os agrupamentos de 2ª ordem dos acidentes ocorridos em 2001 que são locais com possibilidade de aplicação de medidas táticas de engenharia, tais como mudança de velocidade na via, instalação de fotosensores, fechamento de canteiros centrais e alocação de mais viaturas ou agentes de trânsito dispersos pelo corredor ou pela área. Como exemplo, pode-se citar o agrupamento da Av. Eng. Santana Júnior que possui um trecho de aproximadamente um quilômetro, entre a Av. Pe. Antonio Tomás e a R. Israel Bezerra, no qual ocorreu 200 acidentes. Este agrupamento encontra-se detalhado na Figura 5.19.

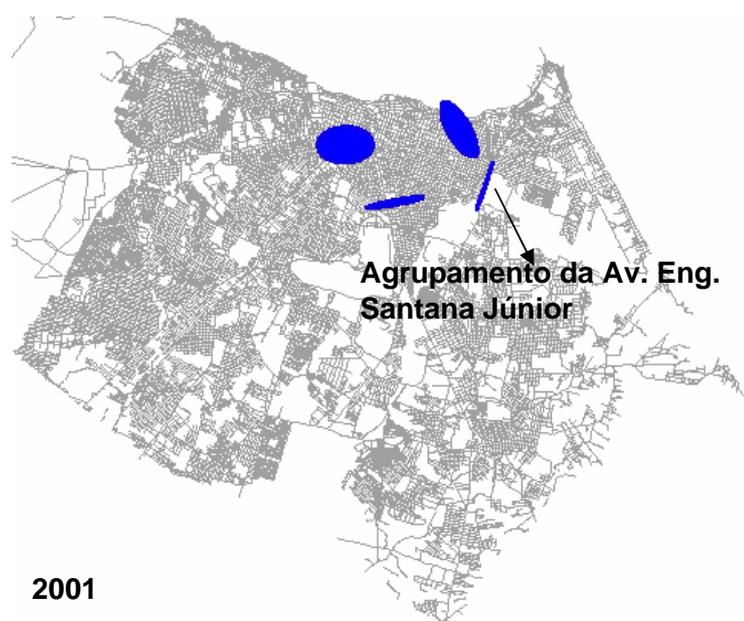


Figura 5.18: Agrupamentos de 2ª ordem do total de acidentes em 2001.

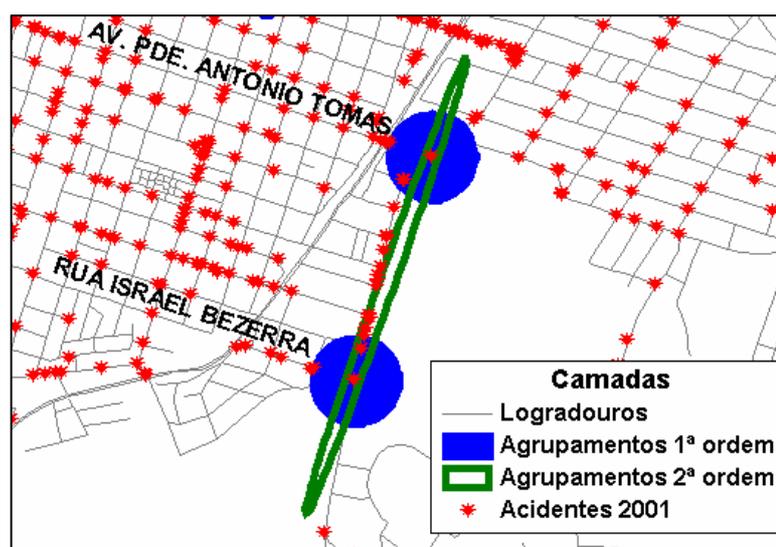


Figura 5.19: Visualização de um agrupamento 2ª ordem do total de acidentes em 2001.

Uma maior dispersão, assim como uma maior quantidade de agrupamentos de acidentes em 2002 pode ser verificada na Figura 5.20, que apresenta os agrupamentos de 2ª ordem de 2001 e 2002, destacando os agrupamentos da Av. José Bastos e da Av. João Pessoa, que estão bastante próximos e se localizam fora da região central. Estes dois agrupamentos constituem uma das diferenças em relação aos agrupamentos de 2001. Pode-se observar também a sobreposição do agrupamento da Av. Pontes Vieira nos dois anos, o que pode indicar esta avenida como corredor crítico de acidentes da cidade.

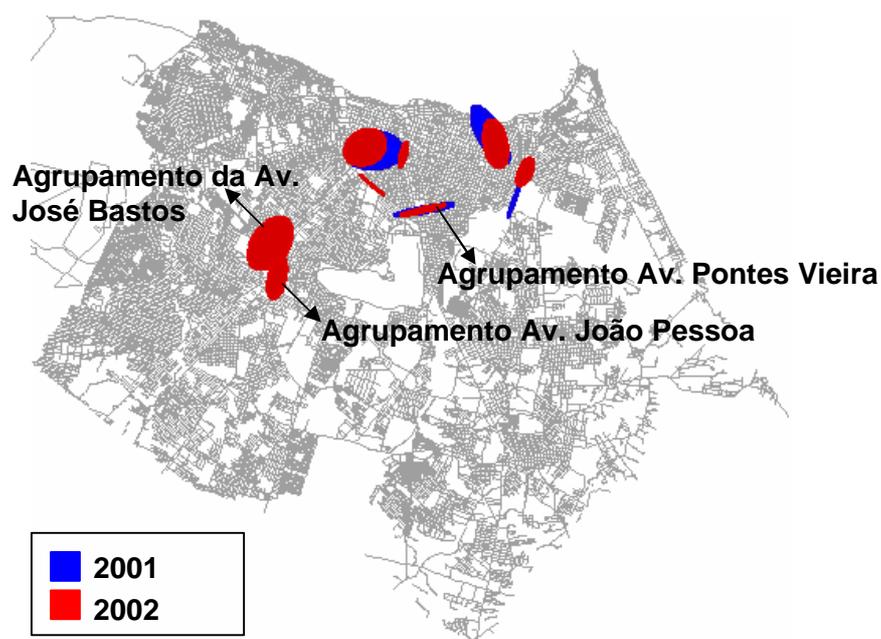


Figura 5.20: Agrupamentos de 2ª ordem do total de acidentes em 2001 e 2002.

A Figura 5.21 apresenta os agrupamentos de 3ª ordem dos acidentes em 2001 e 2002, cujos locais podem ser alvo de medidas estratégicas de engenharia, sendo que estas exigiriam pesquisas e investimentos para efetivar um diagnóstico abrangente e propor soluções, tais como políticas de controle de circulação de tráfego. O local do agrupamento de 2001 pode ser descrito por vários bairros, dentre eles o Centro, Aldeota e Meireles, enquanto o agrupamento de 2002 localiza-se na região dos bairros Centro, Farias Brito e Benfica. Pode-se concluir que os acidentes, assim como na análise exploratória de áreas, estão concentrados na região central da cidade e que também apresentam a tendência de crescimento para a região sudoeste.

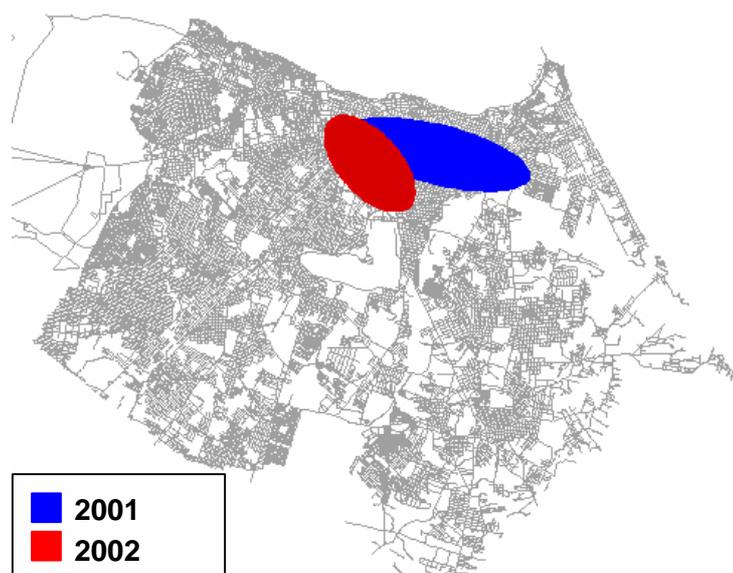


Figura 5.21: Agrupamentos de 3ª ordem do total de acidentes em 2001 e 2002.

5.6.5. Caracterização dos índices de acidentes com a linha de atuação do acidente típico

Esta seção apresenta a aplicação da técnica de agrupamento à linha de atuação considerando as tipologias de colisões e atropelamentos. A seqüência de apresentação dos agrupamentos não será seguida, sendo relatados apenas os casos que demonstrem caracterizações espaciais ou novos benefícios oriundos da aplicação da técnica.

As colisões e os atropelamentos foram agrupados considerando os mesmos critérios aplicados à linha de atuação do local crítico, ou seja, valor de probabilidade unicaudal igual a 10% e desvio padrão igual a um, sendo modificado apenas o valor da quantidade mínima de acidentes. Inicialmente, as colisões foram agrupadas considerando uma quantidade mínima de 30 acidentes. Dentre os agrupamentos gerados em 2001, foi observado que a interseção da Av. Monsenhor Tabosa com Av. Barão de Studart, que registrou 21 acidentes georeferenciados, apresenta outra interseção a uma distância de 30 metros, Av. Barão de Studart com Av. Hist. Raimundo Girão, com 14 acidentes georeferenciados, totalizando 35 acidentes (Figura 5.22). Estas duas interseções podem receber as mesmas medidas de engenharia específicas para reduzir colisões.

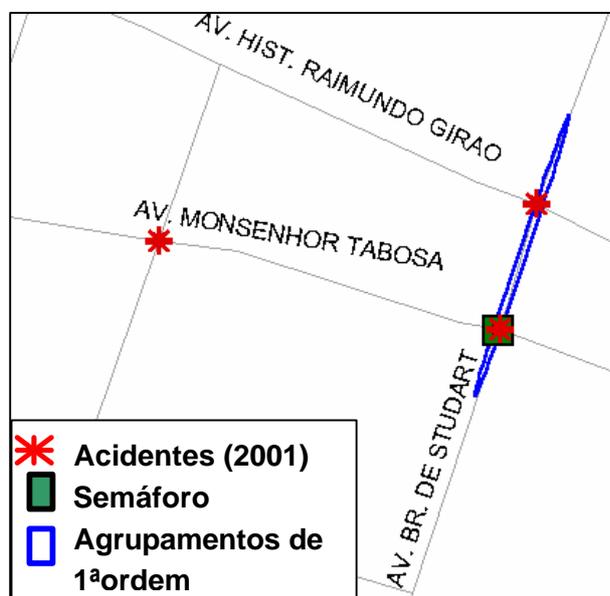


Figura 5.22: Visualização de um agrupamento de 1ª ordem de colisões em 2001.

Visualizando os agrupamentos de 2ª ordem na Figura 5.23, pode-se perceber que em 2001, diferente do que acontece ao analisar o total de acidentes, o agrupamento da Av. José Bastos e da Av. João Pessoa localiza-se fora da região central. Tal fato advém

do cálculo da distância do vizinho mais próximo que, por usar uma quantidade menor de acidentes georeferenciados (9.410), resulta em 91 metros, 11 metros a menos que a distância usada para o total de acidentes. Pode-se observar que o agrupamento da Av. Eng. Santana Jr. também foi identificado considerando esta tipologia. Isto significa que a maioria dos acidentes que ocorreram neste corredor foram colisões e que medidas específicas para esta tipologia podem melhorar a segurança de tráfego nesta avenida.

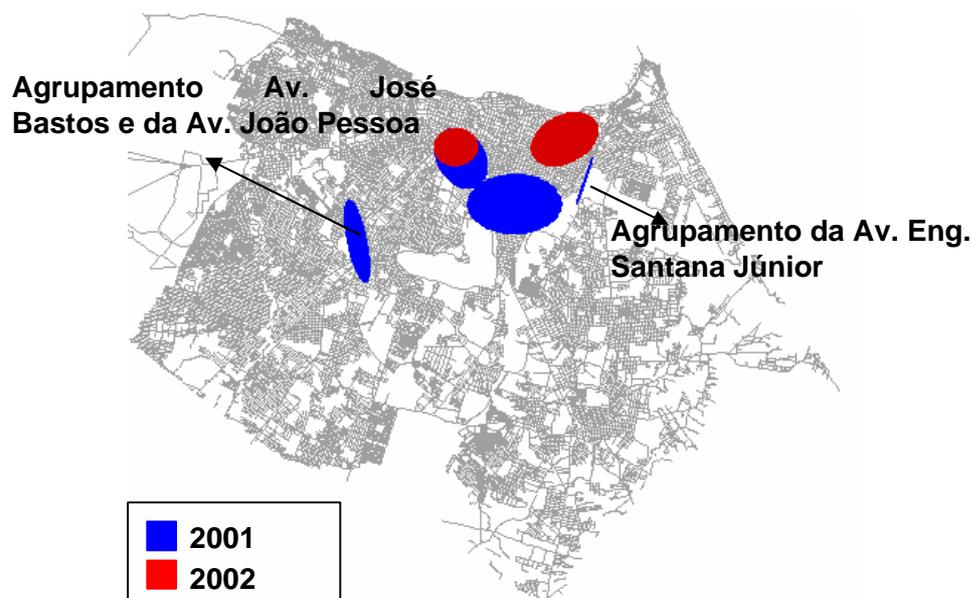


Figura 5.23: Agrupamentos de 2ª ordem com no mínimo 30 colisões em 2001 e 2002.

Considerando os mesmos critérios necessários para a aplicação da técnica, modificando apenas a quantidade mínima de acidentes para 5, os agrupamentos de 1ª ordem dos atropelamentos localizaram-se na região oeste e central da cidade. Ao elaborar os agrupamentos de 2ª ordem, apresentado na Figura 5.24, observou-se dois elementos comuns nos dois anos: o agrupamento central, composto pelas Av. Tristão Gonçalves, Av. Imperador e Av. Duque de Caxias; e o agrupamento do Siqueira, localizado nas proximidades do terminal de ônibus do Siqueira, onde existe um grande fluxo de pedestre nas horas de maior volume de tráfego da cidade. Estes dois agrupamentos podem ser caracterizados como as duas áreas críticas de atropelamentos no município. Observou-se também que a técnica permite identificar trechos que tiveram poucos acidentes isolados, mas que agrupados caracterizaram trechos críticos, representado pelo agrupamento da Av. Sen. Fernandes Távora.

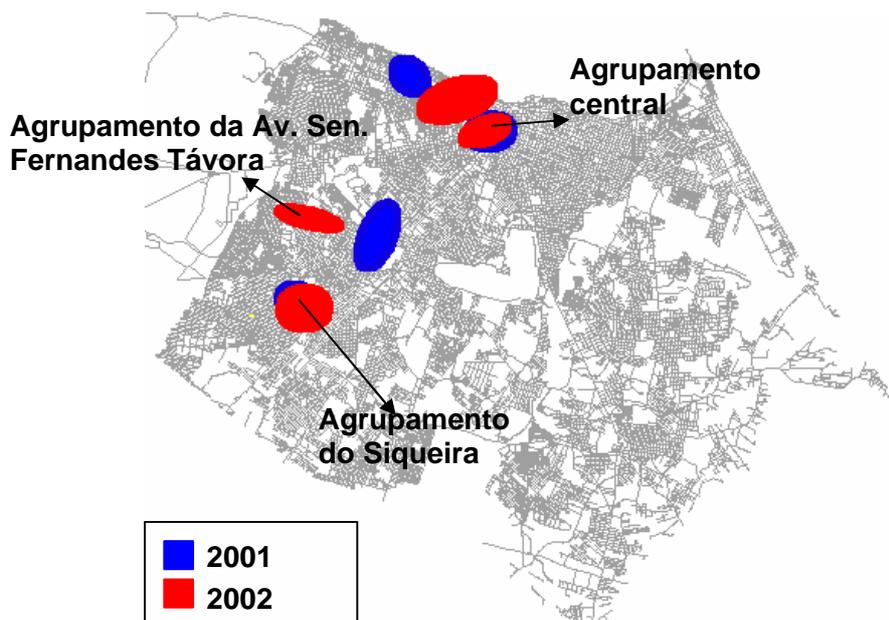


Figura 5.24: Agrupamentos de 2ª ordem com no mínimo 5 atropelamentos em 2001 e 2002.

Ao comparar os agrupamentos gerados por tipo de acidentes, deve-se lembrar inicialmente que a diferença entre a quantidade mínima das colisões (30) e dos atropelamentos (5) foi necessária devido à quantidade de ocorrência de cada um durante um ano, aproximadamente 73% são colisões e 13% são atropelamentos. Assim, quanto menor a quantidade de ocorrências, menor a quantidade mínima de acidentes a ser usada como critério. Como consequência desta relação, a distância do vizinho mais próximo também é diferente para cada tipologia, ou seja, enquanto a distância média para colisões em 2001 foi de 91 metros, e de 83 metros em 2002, para atropelamentos esta distância foi de 225 e 216 metros em 2001 e 2002, respectivamente. Portanto, este cálculo de distância apresenta-se adequado para comparar uma mesma tipologia em períodos diferentes, mas inadequado para tipologias diferentes por terem distâncias médias dos vizinhos muito díspares, com mais de 100% de diferença. Entretanto, isto não impossibilita dizer que as colisões estão concentradas na região central, enquanto os atropelamentos estão concentrados na região oeste.

5.6.6. Caracterização dos índices de acidentes com a linha de atuação do tipo de usuário

Esta seção visa demonstrar a aplicação da técnica à linha de atuação do tipo de usuário, que pode auxiliar os departamentos de educação de trânsito na definição de locais para aplicação de medidas a grupos de usuários com determinadas características.

Aplicando a técnica aos 2.450 acidentes com vítimas pedestres em 2001, mantendo os mesmos critérios, exceto a quantidade mínima que foi alterada para 10 acidentes, obteve-se 177 metros como distância média do vizinho mais próximo, o que gerou 12 agrupamentos (Figura 5.25). O agrupamento da Av. Pres. Castelo Branco, localizado numa região de intenso fluxo de pedestres em determinadas horas do dia, teve 28 acidentes, sendo um com vítima fatal e 27 com vítimas feridas por atropelamento. Os agrupamentos da Av. 24 de Maio, logradouro com circulação de muitos ônibus e pedestres, juntos apresentaram 26 acidentes, caracterizando-se como a avenida de maior ocorrência com vítimas na região central da cidade. A realização de campanhas de orientação e a instalação de semáforos para os pedestres, a implantação ou restauração da sinalização horizontal e a intensa fiscalização de agentes podem reduzir esta quantidade de vítimas pedestres.

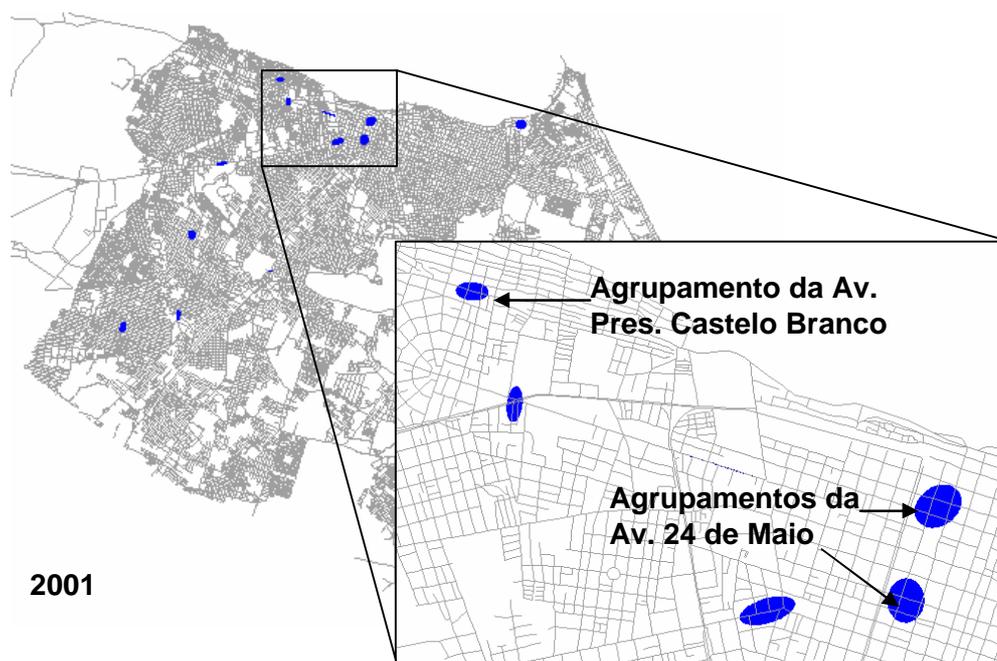


Figura 5.25: Visualização dos agrupamentos com vítimas pedestres em 2001.

5.6.7. Análise de sensibilidade dos critérios da técnica aplicados aos índices de acidentes

Como visto no Capítulo 3, o uso da técnica de agrupamento do vizinho mais próximo envolve a seleção de três critérios (o valor da probabilidade p , a quantidade mínima de pontos e o valor da elipse de desvio padrão) que podem afetar o resultado ou a representação visual dos agrupamentos. Estes critérios são analisados sob o enfoque

da caracterização dos índices de frequência, testando os valores máximos e mínimos de cada um destes critérios e suas implicações sobre os resultados.

A Tabela 5.6 e a Tabela 5.7 apresentam a influência da variável t, selecionado conforme o valor de probabilidade desejado, sobre o total de agrupamentos e sobre o total de acidentes, considerando constante a quantidade mínima de 20 acidentes nos dois anos. Os valores mínimo e máximo da coluna (a) (total de agrupamentos) apresentaram uma variação de 4%, enquanto os valores da coluna (b) (quantidade de agrupamentos de 1ª ordem) apresentaram uma variação de 3%. Já a variação da quantidade de acidentes contidos nos agrupamentos de 1ª ordem foi de 4% (coluna (c)). Estas pequenas variações acontecem porque esta variável influencia o cálculo da distância limite baseada numa distribuição espacial aleatória, o que não acontece com os acidentes, que estavam concentrados geograficamente como foi detectado pelo índice global de Moran. Portanto, elevar ou reduzir o valor de t proporcionará poucas mudanças na quantidade de agrupamentos.

Tabela 5.6: Análise de sensibilidade da quantidade de agrupamentos ao modificar o valor da variável t - 2001.

Valor t	Valor de z	Total de acidentes georeferenciados	Agrupamentos				Qde. acidentes nos agrupamentos de 1ª ordem (c)	% acidentes nos agrup. 1ª ordem (d)
			Total (a)	1ª ordem (b)	2ª ordem	3ª ordem		
0,01%	-3,719	11903	79	73	6	0	2556	21,5%
10,00%	-1,282	11903	79	73	5	1	2581	21,7%
50,00%	0,000	11903	81	72	8	1	2591	21,8%
99,99%	+3,090	11903	81	74	6	1	2635	22,1%

Tabela 5.7: Análise de sensibilidade da quantidade de agrupamentos ao modificar o valor da variável t - 2002.

Valor t	Valor de z	Total de acidentes georeferenciados	Agrupamentos				Qde. acidentes nos agrupamentos de 1ª ordem (c)	% acidentes nos agrup. 1ª ordem (d)
			Total (a)	1ª ordem (b)	2ª ordem	3ª ordem		
0,01%	-3,719	14296	95	88	7	0	3010	21,0%
10,00%	-1,282	14296	97	88	8	1	3073	21,5%
50,00%	0,000	14296	99	89	9	1	3083	21,6%
99,99%	+3,090	14296	99	91	7	1	3128	21,8%

Pode-se adotar o valor de 10,00% como valor constante para todas as análises a serem realizadas porque a variação do percentual de acidentes pertencentes aos agrupamentos de 1ª ordem (coluna (d)), comparando o valor de t igual a 10,00 % com os outros valores de t, foi de 0,45% no máximo, em 2001 e 2002. Além disto, os valores de t acima citados também apresentaram localização e tamanho de elipses muito semelhantes.

Não foram observadas mudanças quanto à localização dos agrupamentos ao variar o valor de t, sendo constatado apenas que os agrupamentos de 1ª ordem acrescentados localizavam-se na região de maior concentração espacial de acidentes, ou seja, na região central como demonstrado na análise exploratória de acidentes em área. Também foi observado que não houve mudanças quanto ao sentido do eixo maior da elipse de desvio padrão.

Outro critério a ser analisado é a quantidade de desvios padrões que se relaciona com a dimensão da elipse, ou seja, quanto maior a quantidade de desvios padrões, maior a área da elipse e maior o percentual de pontos contidos na área da elipse. A Figura 5.26 apresenta os agrupamentos de 2ª ordem com no mínimo 10 colisões usando 1 e 2 desvios padrões respectivamente. Como a utilidade deste critério está relacionada à representação visual, ele não influencia os resultados do total de pontos dos agrupamentos.



Figura 5.26: Representação das elipses de 1 e 2 desvios padrões.

O último critério é a quantidade mínima de acidentes requeridos para definir um agrupamento. Como parâmetro inicial, pode-se usar a quantidade média de acidentes

por local crítico em um período (ano), aumentando e reduzindo esta quantidade para obter novas conclusões sobre a situação da segurança. Em relação aos tipos de acidentes, tais como colisões e atropelamentos, também se pode iniciar com a média destas tipologias calculadas em banco de dados. Nos casos dos acidentes com vítimas fatais, sugere-se que valores a partir de dois acidentes sejam usados como critério para os agrupamentos porque a frequência anual destes acidentes é reduzida e qualquer agrupamento proporcionará novas conclusões que podem auxiliar a seleção de medidas efetivas para reduzir ou até eliminar a quantidade de vítimas fatais nestes locais.

Dentre os três critérios, o critério crítico é a quantidade mínima de acidentes porque a alteração de seus valores resulta em agrupamentos totalmente diferentes quanto à quantidade e à localização. A Tabela 5.8 e a Tabela 5.9 apresentam as variações das quantidades de agrupamentos ao modificar o valor da quantidade mínima de pontos. Observa-se uma diferença de 300% tanto no total de agrupamentos, quanto nos agrupamentos de 1ª ordem, ao usar uma quantidade mínima de 20 e de 40 acidentes. Esta diferença se apresenta bem maior do que os percentuais de modificação no valor da variável t que atingiram no máximo 4%, apresentados na Tabela 5.6 e na Tabela 5.7.

Tabela 5.8: Análise de sensibilidade da quantidade de agrupamentos ao modificar quantidade mínima de acidentes - 2001.

Qde. mínima de acidentes	Total de acidentes 2001	Agrupamentos				Qde. acidentes nos agrupamentos de 1ª ordem	% acidentes nos agrup. 1ª ordem
		Total (a)	1ª ordem (b)	2ª ordem	3ª ordem		
20	11903	79	73	5	1	2581	21,7%
25	11903	52	48	4	0	2016	16,9%
30	11903	38	35	3	0	1644	13,8%
40	11903	19	18	1	0	1044	8,8%

Tabela 5.9: Análise de sensibilidade da quantidade de agrupamentos ao modificar a variável quantidade mínima de acidentes - 2002.

Qde. mínima de acidentes	Total de acidentes 2001	Agrupamentos				Qde. acidentes nos agrupamentos de 1ª ordem	% acidentes nos agrup. 1ª ordem
		Total	1ª ordem	2ª ordem	3ª ordem		
20	14296	95	88	7	0	3010	21,0%
25	14296	68	63	5	0	2490	17,4%
30	14296	49	45	4	0	1990	13,9%
40	14296	19	19	0	0	1079	7,5%

Como outro exemplo da influência quantidade mínima de acidentes nos resultados dos agrupamentos, a técnica foi aplicada para analisar os agrupamentos em relação à severidade do acidente, considerando apenas os acidentes com vítimas fatais.

A Figura 5.27 inicia a análise dos agrupamentos com a alteração seqüencial da quantidade mínima de acidentes para uma mesma tipologia, apresentando dois agrupamentos de 1ª ordem com no mínimo sete acidentes com vítimas fatais em 2001. O agrupamento da Av. Pe. Mororó apresenta vários acidentes dispersos num raio aproximado de 350 metros, tendo dois acidentes na Rua São Paulo. Estes acidentes, em sua maioria, envolveram ônibus e resultaram em pedestres mortos, seguindo o padrão nacional de acidentados, ou seja, homens na faixa etária dos 30 aos 59 anos. Os três acidentes destacados com a cor verde neste agrupamento ocorreram no mesmo mês, com intervalo de 10 dias entre um e outro.

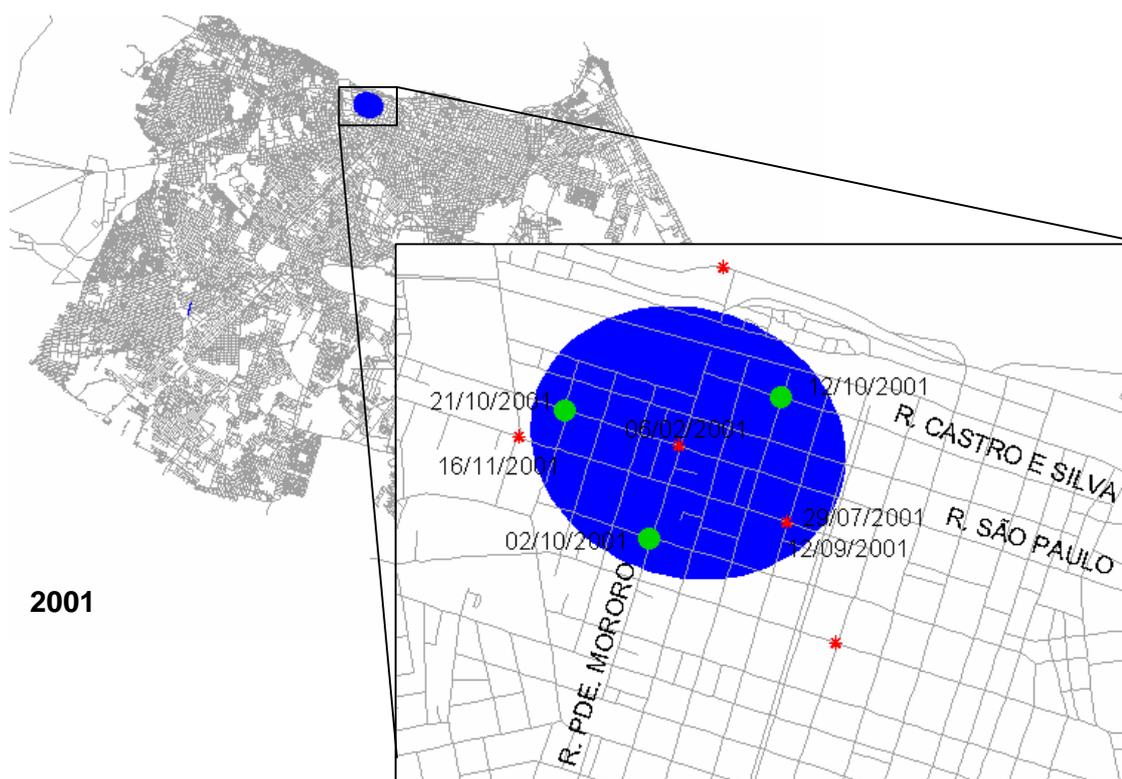


Figura 5.27: Visualização de um agrupamento de acidentes c/ vítimas fatais em 2001.

A Figura 5.28 mostra que ao reduzir a quantidade mínima para 5 acidentes, surgem mais dois agrupamentos de 1ª ordem, localizados próximos a Av. José Bastos, além dos outros dois agrupamentos de no mínimo 7 acidentes com vítimas fatais. Estes agrupamentos consideraram a mesma distância do vizinho mais próximo, já que a

quantidade de pontos usados no cálculo da técnica foi igual. Pode-se observar também na Figura 5.28, que os agrupamentos semelhantes apresentaram-se superpostos tendo a mesma área e sentido de eixo maior da elipse. A redução da quantidade mínima para três acidentes fez aparecer mais agrupamentos na Figura 5.29, muitos dos quais localizados na região oeste da cidade. Os agrupamentos sobrepostos continuam com a mesma área e sentido de eixo maior da elipse.

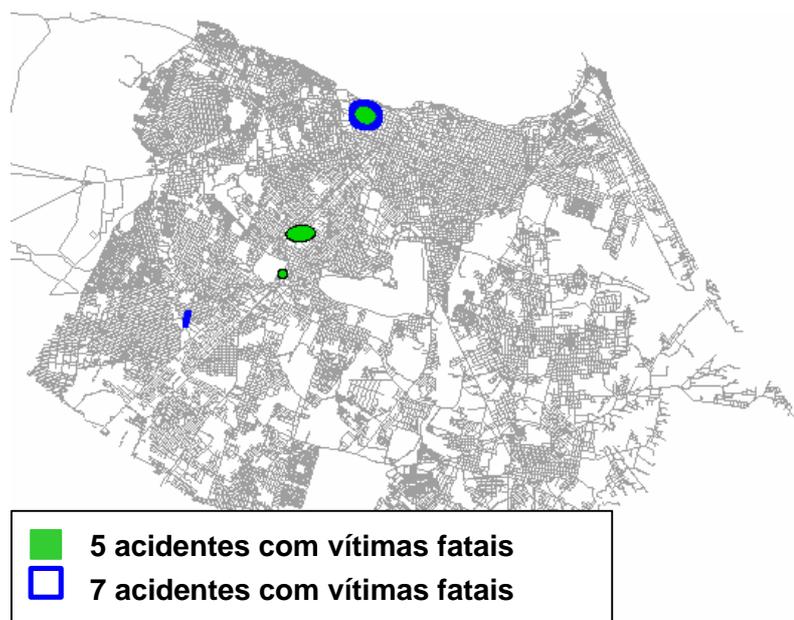


Figura 5.28: Comparação entre os agrupamentos com 7 e 5 acidentes c/vítimas fatais.

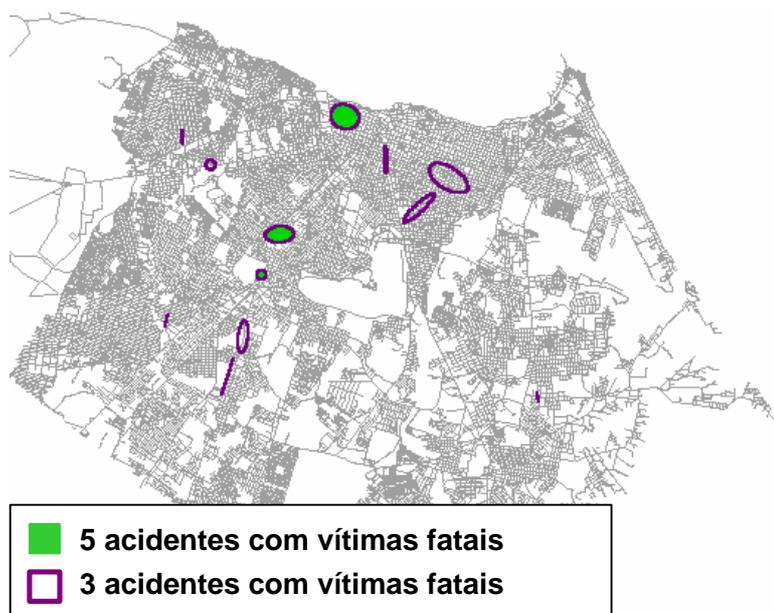


Figura 5.29: Comparação entre os agrupamentos com 5 e 3 acidentes c/vítimas fatais.

5.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O índice de frequência de acidentes por quilômetro mostrou-se viável para a obtenção de uma caracterização sistêmica da situação da segurança de tráfego. Os resultados apresentados indicam que os critérios selecionados para a definição do índice de estudo, reduzir a influência do tamanho da área e caracterizar a heterogeneidade do fenômeno de ocorrência de acidente, foram adequados. O único cuidado exigido é que as camadas de logradouros e zonas estejam sobrepostas nos limites corretos estabelecidos para a camada de zonas.

O objetivo específico, demonstrar que as ferramentas de análise exploratória espacial em áreas podem contribuir para uma caracterização espacial sistêmica das condições de segurança na malha viária de Fortaleza, usando os índices de acidentes de trânsito, foi atingido com a aplicação sequencial de algumas destas ferramentas. Enquanto a visualização espacial permitiu a identificação de zonas críticas isoladas, a média móvel suavizou os valores dos índices de acidentes, possibilitando a definição de uma região crítica na área central de Fortaleza, além de apontar uma tendência de crescimento para a direção sudoeste da cidade. O Diagrama de Moran confirmou os resultados da análise da média móvel, identificando outra tendência de crescimento para a região noroeste, além de apresentar uma expansão das regiões de transição em 2002, com uma maior dispersão dos acidentes sendo confirmada pelo aumento do índice global de Moran. O *Moran Map* confirmou a região central como sendo a área crítica de acidentes, caracterizada por uma forte associação entre elevados índices de acidentes e intensa utilização do solo, grande densidade de vias e interseções, assim como elevados volumes de tráfego veicular e de pedestres.

Apresentar o potencial das ferramentas de análise de padrões pontuais para caracterizar e diferenciar geograficamente a tipologia dos acidentes, assim como os índices de acidentes com suas diversas linhas de atuação, foi o objetivo específico atingido com a aplicação das ferramentas de vizinho mais próximo, elipse de desvio padrão e da técnica de agrupamento. As duas ferramentas iniciais forneceram gráficos, índices e figuras que possibilitaram diferenciar geograficamente a tipologia dos acidentes e que também auxiliaram a identificar locais críticos.

A técnica de agrupamento mostrou-se uma ferramenta eficiente para estudos de identificação de locais críticos, exigindo do analista um pleno domínio dos critérios de agrupamentos. Dentre os três critérios, foi identificado que o de maior influência na determinação da quantidade de agrupamentos era a quantidade mínima de pontos, cujo valor inicial poderia ser a média dos acidentes ocorridos no período de estudo. Os demais critérios, por terem uma influência menor, não necessitaram de uma maior precisão, mas sugere-se os valores apresentados neste capítulo, ou seja, dois desvios padrões e o valor de t igual a 10%. Esta técnica também se apresentou como ferramenta auxiliar para contabilizar a quantidade de acidentes em um local que possui várias denominações. Observou-se também que a técnica alterou a ordem de classificação do total de acidentes em cada local ao considerar principalmente uma área de abrangência ao seu redor, sendo que estes não poderiam ser detectados sem o uso dos pacotes comerciais de SIG e das ferramentas de estatística espacial.

A caracterização de algumas linhas de atuação dos índices de acidentes também se mostrou adequada para análise de locais críticos, podendo auxiliar a alocação de medidas de fiscalização, de engenharia e de educação em várias escalas, sejam elas locais, de vizinhança, de áreas e até da cidade como um todo.

Deve-se lembrar que todos os resultados identificados pela técnica estão sujeitos aos percentuais de georeferenciamento. As ferramentas acima citadas mostraram que elas possuem ampla aplicação para a caracterização e, até mesmo, para o desenvolvimento de novos índices e métodos de identificação de locais críticos de acidentes de trânsito.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

“Existiam dois caminhos a serem percorridos. Eu escolhi o caminho menos percorrido e isto fez toda a diferença.”
Robert Froy

6.1. CONCLUSÕES

A principal contribuição desta pesquisa foi trazer um novo posicionamento crítico no trato da informação geográfica quantitativa dentro da área de engenharia de transportes e, principalmente, da segurança de tráfego. Este novo posicionamento nasce no reconhecimento da natureza espacial dos dados de transportes e se consolida nas possibilidades de aplicação das ferramentas de análise e estatística espacial que o ambiente digital propicia. Para que estas possibilidades se efetivem, faz-se necessário que se estabeleça a ponte entre as referências dos universos teórico-conceitual do geoprocessamento e da engenharia de transportes. Apesar da aplicação da tecnologia do geoprocessamento ampliar as possibilidades analíticas em estudos de engenharia, estas possibilidades somente se viabilizarão sob o domínio de um conjunto de conhecimentos que, num primeiro momento, são estranhos à comunidade de transportes nacional. Acredita-se que este trabalho tenha contribuído para a consolidação desta ponte conceitual entre os dois universos de conhecimento, apostando num crescente uso desta tecnologia em estudos desta natureza.

Seqüencialmente, este estudo foi organizado em duas grandes etapas de análise: o georeferenciamento dos dados de acidentes e a análise espacial. A primeira etapa, objeto de estudo do Capítulo 4, inicialmente apresentou o Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito de Fortaleza (SIAT-FOR), diagnosticando a situação do seu cadastro de logradouros e citando as principais características deste sistema: a grande quantidade de fontes coletoras de dados de acidentes, assim como a complementação e a consistência dos dados no sistema em tempo real. Estas características deveriam estar inseridas em todo e qualquer banco de dados de acidentes.

Em seguida, foram descritas as vantagens da elaboração de uma rotina desenvolvida na linguagem interna de programação de um pacote comercial de SIG para o georeferenciamento, citando alguns problemas ocorridos durante esta elaboração. As

soluções apresentadas para o não georeferenciamento dos acidentes demonstram que esta rotina poderá atingir percentuais de georeferenciamento ainda maiores, já que estas soluções são tarefas de fácil execução e baixo custo, tais como as pesquisas de numeração de pontos de referência e correções de denominações de logradouros. Dentre estas vantagens, destacou-se a serventia do georeferenciamento dos acidentes para avaliar um banco de dados de acidentes para a engenharia de tráfego. Esta avaliação foi feita usando um índice que calcula o percentual de acidentes georeferenciados pelo tipo de severidade. Este índice permite citar que um banco de dados será tanto mais eficaz para a engenharia de tráfego quanto maior for o percentual de georeferenciamento dos acidentes graves.

A segunda etapa de análise, objeto de estudo do Capítulo 5, apresentou as possibilidades de aplicação das ferramentas de análise e estatística espacial, demonstrando que elas podem auxiliar a entender melhor o fenômeno dos acidentes e que o uso do SIG para dados de transportes pode e deve ir além das funções de seleção e manipulação destes dados em forma de mapas temáticos. A aplicação destas ferramentas foi subdividida em duas partes: as ferramentas de análise de dados em área e as ferramentas de análise de padrões pontuais.

As ferramentas de análise de dados em áreas possibilitaram uma caracterização espacial sistêmica da segurança viária de Fortaleza, mostrando-se eficazes para apresentar concentrações e tendências espaciais de crescimento. Neste contexto, destacou-se o índice global de Moran que apenas com seus resultados numéricos possibilitou identificar que os acidentes estão se tornando mais difíceis de serem tratados em Fortaleza, por estarem se dispersando pela cidade. Em estudos de segurança, nos quais é pouco difundido o uso de informações sob a forma de índices relativos espaciais, saber reconhecer as interdependências que estas medidas sofrem em função de sua natureza geográfica é fundamental para sua correta interpretação, sendo importante que o analista reconheça e controle o efeito do PUAM.

As ferramentas de análise de padrões pontuais mostraram ser um instrumento eficaz para analisar a distribuição espacial temporal dos acidentes, para caracterizar geograficamente os tipos de acidentes e para identificar locais críticos usando o índice de frequência de acidentes e suas diversas linhas de atuação. Esta última característica

demonstrou sua utilidade ao identificar agrupamentos desconsiderando a influência do PUAM, revelando padrões encobertos pela fragmentação que a representação zonal impõe aos dados. Ela também apresentou os mesmos resultados de locais críticos fornecidos pelo SIAT-FOR, apresentando a vantagem de considerar os acidentes mais próximos como pertencentes ao mesmo local.

Pelos resultados apresentados, estas ferramentas mostraram-se aptas a serem incorporadas aos estudos de segurança viária, fazendo com que um banco de dados de acidentes sirva efetivamente de suporte ao planejamento de programas de redução de acidentes. Caso contrário, os relatórios de dados de acidentes continuarão a usar os índices de acidentes apenas como parâmetro de hierarquia dos problemas de segurança viária e a usar o SIG como simples fornecedor de tabelas e mapas cloropéticos que apresentam pouca utilidade prática.

6.2. RECOMENDAÇÕES

A seqüência imediata dos estudos apresentados nesta dissertação deverá estar direcionada para a experimentação das ferramentas de análise confirmatória que não foram contempladas aqui. Neste caso, recomenda-se o uso de modelos espaciais, tais como a regressão geponderada e a *krigeagem*. A *krigeagem* pode ser aplicada, para a identificação de áreas críticas ou zonas homogêneas de acidentes usando, por exemplo, as ferramentas de geostatística disponíveis no pacote de SIG *SPRING versão 3.06.03*. Os modelos espaciais temporais também podem ser aplicados para os estudos de segurança de tráfego usando algumas ferramentas tais como as disponíveis no pacote de estatística espacial *CrimeStat versão 2.0*. Este pacote também contém técnicas estatísticas espaciais descritivas, tais como o centro mínimo de distância que possibilita a alocação de agentes e viaturas em locais onde tenham ocorrido muitos acidentes, ou então observar a inclinação da elipse de desvio padrão de distribuição dos acidentes em cada horário para saber qual a melhor maneira de distribuir as viaturas pela cidade.

Com relação às ferramentas de análise exploratória, recomenda-se avançar nos estudos sobre os efeitos do PUAM e dos estimadores bayesianos, incorporando-se a medida de vizinhança ao modelo, restringindo assim sua ponderação à sua média local para que o uso dos índices de acidentes possa fornecer um diagnóstico mais preciso.

Recomenda-se aplicar as outras técnicas de agrupamento aos outros índices de acidentes. Como exemplo, pode-se citar a aplicação de alguma técnica de particionamento à taxa de acidentes em interseções para a identificação de interseções semaforizadas críticas, principalmente em áreas urbanas onde este equipamento é bastante usado. Outro exemplo seria a aplicação do índice de severidade à técnica de agrupamento do vizinho mais próximo, considerando o peso relacionado a cada tipo de severidade do acidente. Outro potencial uso desta ferramenta é a identificação da correlação de acidentes com imobiliários urbanos, como escolas, *shopping centers* e outros pólos geradores de tráfego.

Os resultados obtidos com a aplicação das ferramentas de análise espacial fazem com que elas sejam recomendadas para a elaboração de novos sistemas de apoio à tomada de decisão e para a aplicação em outras áreas de pesquisa da engenharia de transportes. Como exemplo do primeiro caso, recomenda-se o desenvolvimento de um sistema de informações e de análises espaciais de acidentes de trânsito, contendo rotinas ou procedimentos automatizados que facilitem o intercâmbio de dados entre um banco de dados informatizado de acidentes e os pacotes comerciais de SIG e de estatística espacial. Uma destas rotinas permitiria a análise dos resultados do georeferenciamento, diagnosticando os motivos de erros deste processo. Outras rotinas seriam desenvolvidas para permitir uma fácil elaboração de consultas e relatórios, de modo que o usuário não precisasse entender profundamente o uso destes pacotes. Uma etapa fundamental para uma análise correta dos resultados fornecidos por este sistema seria a formação de analistas espaciais de acidentes.

Para exemplificar o segundo caso, recomenda-se a aplicação destas técnicas à modelagem da demanda e gestão do transporte público, porque usam dados espaciais e, portanto, estão sujeitas aos erros do pressuposto da independência entre os eventos da estatística tradicional e também podem se beneficiar das caracterizações citadas neste trabalho. A aplicação das ferramentas de análise espacial mais robustas, como a modelagem espaço-temporal, em conjunto com modelos de tomada de decisão apresenta um ótimo potencial de representação do fenômeno real e que pode ser explorado pela comunidade acadêmica nacional.

Ainda como sugestão para futuras investigações, recomenda-se a aplicação desta metodologia para obter uma caracterização sistêmica sobre a segurança de tráfego nacional, usando os dados de acidentes por Estado, coletados pelo Ministério dos Transportes, sendo necessária a seleção de uma variável que possua um elevado grau de correlação com acidentes. Recomenda-se também o estudo da distribuição espacial em área por tipo de classificação viária, pois a quantidade de acidentes varia conforme esta classificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMC (2003) *Estatísticas de Acidentes de Trânsito 2001-2002*. Autarquia Municipal de Trânsito, Serviços Públicos e Cidadania, Prefeitura Municipal de Fortaleza, Fortaleza, CE.
- ANSELIN, L. (1992) *Spacestat – User’s Guide*. University of Illinois, Urbana - Champaign. Urbana, EUA. Disponível em: <<http://www.terraseer.com/spacestat/docs/V180man.pdf>>. Acesso em: 18 de dez. 2002.
- ARAÚJO, E. H. S. A. e J. F. S. CRUZ (2002) Sistema de Gerenciamento de Informações Estatísticas de Trânsito de Veículos e Pedestres. Minicurso do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Natal, RN.
- ASSUNÇÃO (2001) *Estatística Espacial com Aplicações em Epidemiologia, Economia e Sociologia*. Belo Horizonte, UFMG. Disponível em: <<http://www.est.ufmg.br/~assuncao~>>. Acesso em: 15 de mar. 2003.
- ASTEF (2001) *Manual do Usuário do Sistema Computacional do Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito*. Associação Técnico Científica Engenheiro Paulo de Frontim - ASTEF. Convênio ASTEF/Universidade Federal do Ceará/Autarquia Municipal de Trânsito, Serviços Públicos e Cidadania. Relatório do 4º plano de trabalho, Fortaleza, CE.
- BAGINSKI, L. E. (1995) *Sistema de Cadastro e Análise de Acidentes de Trânsito*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- BAILEY, T. C. (1994) *A Review of Spatial Statistics Analysis in Geographic Information Systems*. In: Fortheringham, S. e P. Rogerson (eds.) *Systems Spatial Analysis and GIS*. Taylor & Francis Ltda., Londres, Inglaterra.
- BAILEY, T. C. e A. C. GATRELL (1995) *Interactive Spatial Data Analysis*. Longman, Londres, Inglaterra.
- BEATO, C. C. F. (2002) *Informação e Desempenho Policial*. Centro de Estudos em Criminalidade e Segurança Pública. Disponível em: <<http://www.crisp.ufmg.br/InfoPol.pdf>>. Acesso em: 15 de mai. 2003.
- BETTI, N. (1999) *Accidents Rates in Highway in Austin, Texas*. Disponível em: <http://www.ce.utexas.edu/stu/bettinp/final.html>. Acesso em: 18 set. 2001.
- BIVAND, R. (1998) *A Review of Spatial Statistics Techniques for Location Studies*. Department of Geography – Norwegian School of Economics and Business Administration. Disponível em: <<http://www.nhh.no/geo/gib/gib1998/gib09-3/lund.pdf>>. Acesso em: 10 de jul. 2002.
- BRAGA, M. G. (1993) *A Percepção de Motoristas e Engenheiros de Tráfego sobre a Segurança em Cruzamentos Urbanos*. Revista Transportes. v. 1, n. 1, junho, pp. 38-49.

- BRETHERTON JR, M. (1994) Accident Record Systems in Georgia. ITE Digital Library (CD-ROM), v. 2.
- BROSE, C. A. (1999) Geographic Information Systems for Spatial Analysis of Traffic Collision Locations in La Crosse, Wisconsin. Disponível em: <<http://www2.smumn.edu/ra/gis/pages/GradProjects/Brose.PDF>>. Acesso em: 10 de fev. 02.
- CALIPER (1996) User's Guide. Version 3.0. Caliper Corporation, Newton, Massachusetts, EUA.
- CÂMARA, G. e M. S. CARVALHO (2000) Análise de Eventos Pontuais. In: Fuks, S. D.; M. S. Carvalho; G. Câmara; A. M. V. Monteiro (eds.). *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Processamento de Imagens, São José dos Campos, São Paulo. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em: 18 de out. 2002.
- CÂMARA, G., A. M. V. MONTEIRO, F. R. RAMOS, A. SPOSATI, D. KOGA (2001) Mapping Social Exclusion/Inclusion in Developing Countries: Social Dynamics of São Paulo in the 90's . In: D. Jonelle, M. Goodchild (eds.). *Best Practices in GIS*. Center for Spatially Integrated Social Science, Santa Barbara, EUA. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/papers/saopaulo_csiss.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2002.
- CÂMARA, G.; A. M. V. MONTEIRO; S. DRUCK e M. S. CARVALHO (2000a) Análise Espacial e Geoprocessamento. In: Fuks, S. D.; M. S. Carvalho; G. Câmara; A. M. V. Monteiro (eds.), *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Processamento de Imagens, São José dos Campos, São Paulo. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em: 18 de out. 2002.
- CÂMARA, G.; M. A. CASANOVA; A. S. HEMERLY; G. C. MAGALHÃES e C. M. B. MEDEIROS (1996) Anatomia de Sistema de Informações Geográficas. Instituto de Computação, UNICAMP, Campinas, São Paulo, SP.
- CÂMARA, G.; M. S. CARVALHO; O. G. CRUZ e V. CORREA (2000b) Análise de Dados de Área. In: Fuks, S. D.; M. S. Carvalho; G. Câmara; A. M. V. Monteiro (eds.). *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Processamento de Imagens, São José dos Campos, São Paulo. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em: 18 de out. 2002.
- CARDOSO, H. M. e C. F. G. LOUREIRO (2001) Tipificação e Georeferenciamento dos Acidentes de Trânsito em Interseções SemafORIZADAS da Cidade de Fortaleza. *Anais do XV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Campinas, SP, Comunicações Técnicas, v. 1, p. 9-16.
- CARDOSO, J. L. (1998) Detecção de Zonas de Acumulação de Acidentes em Áreas Urbanas. LNEC. Ciclo de Seminários. Lisboa.

- CARVALHO, M. S. (1997) Aplicação de Métodos de Análise Espacial na Caracterização de Áreas de Risco à Saúde. Tese de Doutorado em Engenharia Biomédica, COPPE/UFRJ. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser301/referencias/marilia_tese.pdf>. Acesso em: 18 de jul. 2002.
- CET (1977) *Redução de Acidentes de Tráfego - Medidas para um Plano de Ação*. Companhia de Engenharia de Tráfego - CET, Secretaria Municipal de Transportes. Prefeitura do Município de São Paulo, São Paulo, SP.
- CET (1997) *Fatos e Estatísticas de Acidentes de Trânsito em São Paulo*. Companhia de Engenharia de Tráfego - CET, Secretaria Municipal de Transportes. Prefeitura do Município de São Paulo, São Paulo, SP.
- CET (2000) *Fatos e Estatísticas de Acidentes de Trânsito em São Paulo*. Companhia de Engenharia de Tráfego - CET, Secretaria Municipal de Transportes. Prefeitura do Município de São Paulo, São Paulo, SP.
- CHOU, Y. H. (1996) *Exploring Spatial Analysis in Geographical Information Systems*. On World Press, Santa Fe, EUA.
- CRESSIE, N. A. C. (1993) *Statistics for Spatial Data*. Revised Edition. John Wiley & Sons Inc., Nova York, EUA.
- CROMMELIN, R. W. (1994) *Accident Patterns and Safety Improvements*. ITE Digital Library (CD-ROM), v. 1.
- CTB (1998) *Código de Trânsito Brasileiro*. Ministério da Justiça. Disponível em <<http://www.denatran.gov.br/Legislacao.htm>>. Acesso em: 15 de jul. 2002.
- DANTAS, A. S.; P. W. G. TACO; Y. YAMASHITA (1996) Sistema de Informação Geográfica em Transportes: O Estudo do Estado da Arte. *Anais do X Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Brasília, v.1, p. 211-222.
- DENATRAN (2000) *Manual de Procedimentos do Sistema Nacional de Estatísticas de Acidentes de Trânsito – SINET*. Ministério da Justiça, Departamento Nacional de Trânsito, Brasília, DF.
- DENATRAN (2003a) *Municipalização do Trânsito*. Ministério da Justiça, Departamento Nacional de Trânsito. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/orgaosmunicipais.htm>>. Acesso em: 23 de ago. 2003.
- DENATRAN (2003b) *Instrução Básica de Estatísticas de Trânsito*. Ministério da Justiça, Departamento Nacional de Trânsito. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/estatisticas.htm>>. Acesso em: 23 de ago. 2003.
- DENATRAN (2003c) *Anuário Estatístico de Acidentes de Trânsito*. Ministério da Justiça, Departamento Nacional de Trânsito. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/estatisticas.htm>>. Acesso em: 23 de ago. 2003.
- DNER (1985) *Pesquisa de Acompanhamento do Acidentado*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, RJ.

- ELVIK, R. e A. B. MYSEN (1999) Incomplete Accident Reporting: Meta Analysis of Studies Made in 13 Countries. *72th Transportation Research Board Annual Meeting (CD-ROM)*, Washington, D. C., EUA.
- ESRI (1996) User's Guide. Environmental Systems Research Institute. Redlands, New York, EUA.
- FAHGRI, A. e S. PANCHANATHAN (1995) Knowledge based GIS for Safety Analysis at Rail-Highway Grade Crossings. *65th Transportation Research Board Annual Meeting (CD-ROM)*, Washington, D. C., EUA.
- FHWA (1999) *Using GIS in the Analysis of Truck Crashes*. Federal Highway Administration. Disponível em: <<http://www.hsisinfo.org/pdf/99-119.pdf>>. Acesso em: 13 de mai. 2002.
- FRAMARIM, C da S.; C. T. NODARI e L. A. LINDAU (2002) Técnicas de Identificação de Locais Propensos à Ocorrência de Acidentes: Principais Características e Dificuldades de Aplicação. *Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino de Transportes*, ANPET, Natal, v. 1, p. 417-426.
- GEIPOT (1999) *Boletim de Ocorrência: um Instrumento de Análise dos Acidentes de Trânsito*. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, Ministério dos Transportes, Brasília, DF.
- GOLD, P. A (1998) Segurança de Trânsito: Aplicações de Engenharia para Reduzir Acidentes. Banco Interamericano de Desenvolvimento. São Paulo, SP.
- GRUBESIC, T. H. e A. T. MURRAY (2003) Detecting Hot Spots Using Clusters Analysis and GIS, Ohio, EUA. Disponível em: <<http://www.ojp.usdoj.gov/nij/maps/Conferences/01conf/Grubestic.doc>>. Acesso em: 19 ago. 2003.
- HANCHEY, C. M.; R. F. THOMPSON e D. P. DOYLE (2000) Automated Collision Database and Reporting System for Nashville. *ITE Journal*, abril/2000, p. 24-27.
- HAUER, E. (1996) Identification of Sites with Promise. *68th Transportation Research Board Annual Meeting (CD-ROM)*, Washington, D. C., EUA.
- IHT (1990) *Accident Reduction and Prevention*. Institution of Highways and Transportation. International Edition. Londres, Inglaterra.
- IHT (1996) *Guidelines for the Safety Audit of Highways*. Institution of Highways and Transportation. International Edition. Londres, Inglaterra.
- INPE (2002) SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas - Manual de usuário on-line. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Processamento de Imagens, São José dos Campos, São Paulo. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html>>. Acesso em: 12 de set. 2002.

- INPE (2003) SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Processamento de Imagens, São José dos Campos, São Paulo. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/download.php>>. Acesso em: 12 de set. 2002.
- IRTAD (1997) *Percentage of Killed in 1999 by Traffic Participation*. International Road Traffic Accident Database. Disponível em: <<http://www.bast.de/htdocs/fachthemen/irtad/>>. Acesso em: 15 de mai. 2001.
- ITE (1997) *Establishing the Need: Planning and Engineering Studies*. In: Traffic Signing Handbook. Institute of Transportation Engineers, Washington, EUA.
- KAMPEL, S. A.; G. CAMARA e J. A. QUINTANILHA (2000) Análise Exploratória das Relações Espaciais do Desflorestamento na Amazônia Legal Brasileira. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/papers/silvana_gisbrasil2000.pdf>. Acesso em: 21 de out. 2001.
- KIM, K.; J. BOSKI e E. YAMASHITA (2002) A Typology of Motorcycle Crashes: Rider Characteristics, Environmental Factors and Spatial Patterns. *72nd Transportation Research Board Annual Meeting (CD-ROM)*, Washington, D. C., EUA.
- KIM, K.; J. e E. YAMASHITA (2002) Motor Vehicle Crashes and Land Use: an Empirical Analysis from Hawaii. *72nd Transportation Research Board Annual Meeting (CD-ROM)*, Washington, D. C., EUA.
- LASCALA, E. A.; D. GERBER e P. J. GRUNEWALD (2000) Demographic and Environmental Correlates of Pedestrian Injury Collisions: a Spatial Analysis. *Accident Analysis and Prevention*. v. 32, p. 651-658.
- LEVINE, N. e K. E. KIM (1998) The Location of Motor Vehicles in Honolulu: a Methodology for Geocoding Intersections. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.uk>>. Acesso em: 15 de mar. 2002.
- LEVINE, N.; K. E. KIM e L. H. NITZ (1995) Spatial Analysis of Honolulu Motor Vehicle Crashes Spatial Patterns. *Accident Analysis and Prevention*, v. 27, p. 663-674.
- LOUREIRO, C. F. G. e B. A. RALSTON (1996a) An Investment Selection Model for Multicommodity Multimodal Transportation Networks. *Transportation Research Record*, Washington, DC, v. 1522, p. 38-46.
- LOUREIRO, C. F. G. e B. A. RALSTON (1996b) SIG como Plataforma para Modelos de análise de redes de transporte. *Anais do X Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Brasília, v. 1, p. 235-244.
- LOUREIRO, C. F. G. e M. L. S. OLIVEIRA (1999) GIS Database/Interface for Urban Traffic Management in Brazil. *69th Transportation Research Board Annual Meeting (CD-ROM)*, Washington, D. C., EUA.

- MANTOVANI, V. R. e A. A. RAIA JR. (2002) Uma Ferramenta Eficaz para a Moderna Gestão no Trânsito: Sistema Integrado para Análise de Acidentes de Trânsito – SIAAT. *Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Natal, Comunicações Técnicas e Relatórios de Dissertação, v.3, p.99-107.
- MARTIN, D. (2001) *Census 2001: Making the Best of Zonal Geographies. The Census of Population: 2000 and Beyond*, University of Manchester, Inglaterra.
- MCSHANE, W. R. e R. P. ROESS (1990) *Traffic Engineering*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, EUA.
- MEIRELLES (1990) *Contribuição aos Métodos de Avaliação de Projetos de Engenharia de Tráfego sob o Enfoque da Segurança de Tráfego*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- MENESES, F. A. B. de (2001) *Análise e Tratamento de Trechos Rodoviários Críticos em Ambientes Urbanos e Suburbanos de Grandes Centros urbanos*. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- MILLER, J. S. (1999) *What Value May GIS Add to the Art of Identifying Countermeasures? Final report*. Virginia Department of Transportation. Virginia, EUA. Disponível em: <http://www.virginiadot.org/vtrc/main/online_report/pdf/99-r13.pdf>. Acesso em: 12 de out. 2001.
- MITIC, D.; T. SAYED e S. R. ZEIN (1999) *Computer System for Identification of Correctable Collision Prone-locations. 69th Annual Meeting Institution Transportation Engineering (CD-ROM)*, Washington, D. C., EUA.
- MT (2002) *Programa PARE – Procedimentos para o Tratamento de Locais Críticos de Acidentes de Trânsito*, Ministério dos Transportes, Brasília, DF.
- NICHOLSON, A. (1998) *Analysis of Spatial Distributions of Accidents*. *Safety Science*, v. 31, p. 71-91.
- NIJ (2002) *CrimeStat: User's Guide National Institute of Justice*. National Institute of Justice. Ned Levine & Associates, Washington, EUA. Disponível em: <<http://www.icpsr.umich.edu/NACJD/crimestat.html#download#>>. Acesso em: 14 de mai. 2002.
- QUEIROZ, M. P.; C. F. G. LOUREIRO; F. J. C. CUNTO e L. C. LIMA (2003) *Georeferenciamento do Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito de Fortaleza (SIAT-FOR): resultados iniciais*. *Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro, RJ.
- RAMOS, F. R. (2002) *Análise Espacial de Estruturas Intra-urbanas: o Caso de São Paulo*. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, SP. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/teses/fred/>>. Acesso em: 15 de abr. 2003.

- SETTI, J. R. A. (1985) Identificação e Classificação de Locais Inseguros em Vias Urbanas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, SP.
- SIMÕES, F.A.; S. S. SATO e A. N. R. da SILVA (1998) Utilizando um SIG para Avaliar Acidentes de Tráfego em uma Cidade média. *Anais do Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multi-fundiário*. Florianópolis. Disponível em: <<http://geodesia.ufsc.br/geodesia-online/arquivo/cobrac98/026/016.html>>. Acesso em: 18 nov. 2002.
- TACO, P. W., Y. YAMASHITA; A. S DANTAS.; N. M. SOUZA (1997) Modelo de Geração de Viagens com aplicação do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informação Geográfica. *Anais do XI Congresso da Associação Nacional de Ensino e Pesquisa em Transportes*, ANPET, Rio de Janeiro, v.1. p.253 - 265
- TEIXEIRA, G. L. (2003) Utilização de Dados Censitários para Identificação de Zonas Homogêneas para Planejamento de Transportes Utilizando Estatística Espacial. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília. Brasília, DF.
- TRINDADE JR., R. E. (1988) Procedimentos Para o Acompanhamento de Vítimas de Acidentes de Trânsito, Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- WISE, S.; R. HAINING e C. SIGNORETTA (1998) The Role of Visualization in the Exploratory Spatial Data Analysis of Area-based Data – Proceedings of the 3rd International Conference on GeoComputation – University of Bristol, Reino Unido. Disponível em: <<http://www.geocomputation.org/1998/>> Acesso em: 15 de mar. 2003.
- ZEEGER, C. V. (1982) Highway Accidents Analysis System, NCHRP. Synthesis of Highway Practice, p. 69.
- ZUPPO, C. A.; C. A. DAVIS JR.; A. A. C. MEIRELLES (1993) Geoprocessamento no Sistema de Transporte de Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.pbh.gov.br/prodabel/cde/publicacoes/1993/zuppo1993.pdf>>. Acesso em: 13 de mai. 2001.