

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS  
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E  
SISTEMAS

**ANÁLISE DE DADOS  
GEORREFERENCIADOS PARA SE  
OBTER A DISTRIBUIÇÃO  
ESTATÍSTICA ESPACIAL DAS  
VÍTIMAS FATAIS EM ACIDENTES  
DE TRÂNSITO EM GOIÂNIA**

**Cléber Jean Lacerda**

2014

**ANÁLISE DE DADOS GEORREFERENCIADOS PARA SE OBTER A  
DISTRIBUIÇÃO ESTATÍSTICA ESPACIAL DAS VÍTIMAS FATAIS EM  
ACIDENTES DE TRÂNSITO EM GOIÂNIA**

**Cléber Jean Lacerda**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Clarimar José Coelho, *Dr*

GOIÂNIA  
2014

Dados Internacionais de Catalogação da Publicação (CIP)  
(Sistema de Bibliotecas PUC Goiás)

Lacerda, Cléber Jean.

L131a Análise de dados georreferenciados para se obter a distribuição estatística espacial das vítimas fatais em acidentes de trânsito em Goiânia [manuscrito] / Cléber Jean Lacerda. – Goiânia, 2014. 56 f. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Programa de Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas, 2014.

“Orientador: Prof. Dr. Clarimar José Coelho”.

Bibliografia.

1. Análise espacial (Estatística). 2. Cidadania. 3. Prisão. I. Título.

CDU 910.27(043)

**ANÁLISE DE DADOS GEORREFERENCIADOS PARA OBTER A  
DISTRIBUIÇÃO ESTATÍSTICA ESPACIAL DAS VÍTIMAS FATAIS EM  
ACIDENTES DE TRÂNSITO EM GOIÂNIA**

Cléber Jean Lacerda

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás em março de 2014.

---

Prof. Ricardo Luiz Machado, *Dr. Eng.*  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia de Produção e Sistemas

Banca Examinadora:

---

Prof. Clarimar José Coelho, *Dr.*  
Orientador

---

Prof. Gustavo Teodoro Laureano, *Dr.*

---

Prof. José Elmo de Menezes, *Dr.*

GOIÂNIA – GO – BRASIL  
AGOSTO / 2014

Papai eu continuo aqui com a nossa família e meus amigos, já se passaram vinte anos e a saudade só aumenta. Senti a sua falta todos os dias e na luta para concluir este trabalho quando imaginava que não conseguiria e o cansaço iria tomar conta de mim eu buscava forças lembrando-me dos teus olhos, olhos que brilhavam tanto tentando entender tudo o que estava acontecendo no último dia que te vi com vida. Hoje fico imaginando o que te motivou e onde reuniu tanta força, num momento tão difícil, pra você pronunciar aquela que seria a sua última palavra, “professor”. O que sinto não sei dizer, vai com os anjos vai em paz, eu vou continuar aqui com muito orgulho fazendo o que tanto te orgulhava.

Dedico a você Papai!

## **AGRADECIMENTOS**

A toda a minha família em nome de Zilda, minha “mãezinha”, por não deixar de acreditar que este sonho seria possível, a minha profunda gratidão.

Ao Prof. Dr. Clarimar José Coelho, pelas orientações e oportunidade de ampliar os meus conhecimentos.

“Conheça todas as teorias, domine  
todas as técnicas, mas, ao tocar  
uma alma humana, seja apenas  
outra alma humana.”

Carl G. Jung

## Resumo

O propósito deste trabalho é analisar espacialmente os acidentes de trânsito com vítimas fatais, no município de Goiânia, a partir de uma base de dados georreferenciada utilizando sistemas de informação geográfica, associados a ferramentas de estatística espacial, como o estimador de intensidade de Rosenblatt-Parzen, os índices de autocorrelação global e local de Moran. Com tais técnicas de análise espacial, pretende-se verificar a existência de autocorrelação espacial dos acidentes de trânsito e a presença de agrupamentos (*clusters*).

Palavras-chave: Análise espacial, Acidentes de trânsito, Estatística espacial, Georreferenciamento.



## **Abstract**

The purpose of this search work is to analyze spatially traffic lethal accidents in Goiânia-City, from a geo-referenced database using geographic information system with spatial statistics tools systems, such as intensity estimator of Rosenblatt-Parzen, the Moran`s global autocorrelation index and local. With as spatial analysis aims to verify the existence of spatial autocorrelation of traffic accidents and the presence of data grouped (clusters).

Key words: Spatial Analysis, Traffic Accidents, Spatial Statistics, Georeferencing.

# SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS	xiv
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS	4
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA	13
3.1 Análise Espacial de Dados e Geoprocessamento	13
3.2 Técnicas de Análise Espacial	15
3.2.1 Estimador de Intensidade de Rosenblatt-Parzen	15
3.2.2 Medidas de variabilidade	17
3.2.2.1 Matriz de Proximidade Espacial	17
3.2.2.2 – Média Móvel Espacial	19
3.2.3 Modelos de Dependência Espacial	19
3.2.3.1 Índice Global de Moran	20
3.2.3.2 Índice Local de Moran	22
3.2.3.3 Representações Temáticas dos Indicadores de Autocorrelação	22
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS	24
4.1 Estimador de Intensidade de Rosenblatt-Parzen	24
4.3 Indicadores de Autocorrelação Espacial	28
4.3.1 Média Móvel Espacial	30
4.3.2 Índice Global de Moran	31
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo, MUBDG (2012) e IBGE (2012).	5
Figura 2: Representação da espacialização dos atributos.	8
Figura 3: Georreferenciamento dos Acidentes de Trânsito com vítimas fatais – 2011.	10
Figura 4: Georreferenciamento dos Acidentes de Trânsito com vítimas fatais – 2012.	10
Figura 5: Quantificação do número de acidentes por bairro	11
Figura 6: Matriz de Proximidade Espacial [6].	18
Figura 7: Matriz de Proximidade Espacial Normalizada.	18
Figura 8: Procedimentos no TerraView Para Gerar o Mapa de Kernel.	24
Figura 9: Distribuição dos Acidentes de Trânsito com Vítimas Fatais - 2011.	26
Figura 10: Distribuição dos Acidentes de Trânsito com Vítimas Fatais - 2012.	27
Figura 11: Ferramentas de Estatística Espacial do SIG TerraView.	29
Figura 12: Média Móvel Espacial dos Acidentes fatais de Trânsito – 2011.	32
Figura 13: Média Móvel Espacial dos Acidentes fatais de Trânsito – 2012.	32
Figura 14: Procedimento para gerar o Diagrama de Espalhamento de Moran.	33
Figura 15: Diagrama de Espalhamento de Moran nos Anos de 2011.	34
Figura 16: Diagrama de Espalhamento de Moran nos Anos de 2012.	34
Figura 17: Box map dos acidentes de trânsito no ano de 2011.	36
Figura 18: Box map dos acidentes de trânsito no ano de 2012.	36
Figura 19: LISA MAP dos acidentes de trânsito com vítimas fatais – 2011.	37
Figura 20: LISA MAP dos acidentes de trânsito com vítimas fatais – 2012.	37
Figura 21: Moran Map dos acidentes de trânsito no ano de 2011.	39
Figura 22: Moran Map dos acidentes de trânsito no ano de 2012.	39

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Acidentes de Trânsito com Vítimas Fatais nos Anos de 2011/2012 .....	4
Tabela 2: Valores gerados pelo TerraView para os anos 2011/2012. ....	29

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEDE	Análise Exploratória de Dados Espaciais.
BOAT	Boletim de Acidente de Trânsito.
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LISA	<i>Local Indicators of Spatial Association</i>
MS	Ministério da Saúde.
MT	Ministério dos Transportes.
MUBDG	Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia
OMS	Organização Mundial da Saúde.
SIG	Sistema de Informação Geográfica.
SMT	Secretaria Municipal de Trânsito, Transporte e Mobilidade.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$z_i$	Atributo relativo à $i$ -ésima área.
$d_{ij}$	Distância euclidiana entre a $i$ -ésima posição e a $j$ -ésima amostra.
$w_{ij}$	Elemento da matriz de proximidade espacial referente a regiões $i$ e $j$ .
$\hat{z}_i$	Estatística do estimador de intensidade Kernel
$I_G$	Índice Global de Moran
$I_L$	Índice Local de Moran
$W$	Matriz de Proximidade Espacial
$W_n$	Matriz de Proximidade Espacial Normalizada
$\mu_i$	Média móvel Espacial
$\tau$	Medida do raio.
$\bar{z}$	Valor médio do atributo

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

A análise de dados georreferenciados, para se obter a distribuição estatística espacial das vítimas fatais em acidentes de trânsito em Goiânia, tem como objetivo analisar a ocorrência de acidentes de trânsito com vítimas fatais no espaço geográfico do município da cidade de Goiânia com o emprego sistemas de informação geográfica [7, 16, 17, 22, 24] associado a ferramentas de estatística espacial [8, 10], com a finalidade de verificar a existência de autocorrelação espacial e seus efeitos local, global e a intensidade pontual do evento em Goiânia [19, 10].

A análise de dados georreferenciados é uma atividade que consiste em associar um evento espacial, evento que ocorre no espaço, a um mapa terrestre, integrando o evento a um sistema de coordenadas. Um banco de dados georreferenciados é o principal componente do Sistema de Informação Geográfica (SIG) [14, 15]. Um SIG, quando associado a ferramentas de estatística espacial, permite recuperar, codificar, analisar e identificar as relações espaciais de um evento [3, 19, 23]. O ArcGis e o TerraView serão os SIGs usados neste trabalho para se fazer a análise espacial dos acidentes de trânsito.

Estatística espacial é um segmento da estatística clássica que se encarrega de mensurar as propriedades de em evento, por meio de sua localização no espaço, com o objetivo de quantificar o agrupamento ou a dispersão de dados espaciais pelo emprego de modelagem matemática [10, 30]. A análise espacial é o estudo que possibilita a manipulação de eventos espaciais, eventos que possuem uma referência espacial, com o objetivo de incorporar o espaço à análise. Por meio da análise espacial, é possível descrever a distribuição espacial de um evento e descobrir tendências espaciais de agrupamento [4, 16].

O crescimento desordenado das cidades brasileiras, aliado a uma falta de investimentos em infraestrutura, vem agravando muito os problemas de ordem urbanística nos grandes centros. Nesse processo de urbanização acelerada, vão-se configurando grandes aglomerados metropolitanos que trazem consequências danosas à mobilidade urbana, ocasionando uma maior dependência do veículo motorizado e com isso aumentando o número de acidentes [35].

Os acidentes de trânsito causaram a morte de 1,24 milhão de pessoas e outros 50 milhões de pessoas lesionadas em 182 países, em 2010, ocupando a oitava causa de morte em nível mundial e a principal causa de morte entre os jovens de 15-29 anos, com um custo global de mais de 500 bilhões de dólares [37].

Dado aos altos índices de acidentes de trânsito, uma das maiores preocupações dos órgãos gestores do trânsito é encontrar uma maneira de minimizar os impactos causadores dos acidentes. Estudos na área de análise espacial, relacionados a transportes, são justificáveis na perspectiva de compreender como os acidentes de trânsito estão espacialmente distribuídos e como estas informações podem contribuir para o entendimento da estrutura e da dinâmica deste problema.

Pesquisas com Análise Espacial na área de mobilidade urbana têm-se tornado cada vez mais importante e frequente, devido à sua capacidade de percepção visual por meio de mapas e à facilidade na manipulação de dados espaciais oferecidas pelos SIG. Estudos na área de Análise espacial começaram com o médico britânico John Snow, quando utilizou análise espacial para explicar a relação de um surto de cólera e poços de água, em 1854, na Inglaterra [33]. No Brasil, muitos trabalhos, que utilizam análise espacial, têm sido aplicados para resolver problemas na área de transportes e mobilidade urbana.



O trabalho de TEIXEIRA [34] utilizou dados censitários para a identificação de zonas homogêneas para planejamento de transportes utilizando estatística espacial. O trabalho de KREMPI [20] explora recursos de estatística espacial para analisar a acessibilidade da população aos meios de transporte na cidade de Bauru. QUEIROZ [28] e SANTOS [29] utilizam SIG associados a ferramentas de estatística espacial na área de segurança de tráfego, analisando acidentes de trânsito a partir de uma base de dados georreferenciada. SOARES [32] analisa os acidentes de trânsito, ocorridos em São Carlos, por meio de autocorrelação espacial em redes, verificando o aumento do número de acidentes na periferia da cidade. O trabalho de BERNARDINO [5] analisa os acidentes de trânsito ocorridos na área urbana da cidade de Uberlândia, espacializando os acidentes para identificar as vias, os trechos e os cruzamentos com maior número de acidentes através de análise espacial.

As dificuldades encontradas em pesquisas na área de análise espacial para o tratamento da segurança no trânsito estão na elaboração de uma base de dados georreferenciada devido à falta de padronização no preenchimento das informações relacionadas aos acidentes de trânsito e na modelagem matemática que vai dar suporte às análises espaciais [28,29].

Este trabalho é desenvolvido em cinco capítulos. No Capítulo 2, são apresentadas as definições dos dados e métodos utilizados na pesquisa. No Capítulo 3, são apresentados os principais aspectos da metodologia usada para a análise dos dados. No capítulo 4, são apresentados os resultados e sua análise. No Capítulo 5, são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS

A principal fonte de dados para a análise dos acidentes de trânsito no Brasil é proveniente de um documento denominado Boletim de Acidente de Trânsito – BOAT. A Secretaria Municipal de Trânsito, Transporte e Mobilidade – SMT de Goiânia mantém um departamento responsável por registrar todos os BOATs enviados pelos agentes de trânsito como a Polícia Militar e o Corpo de Bombeiros. Para o desenvolvimento deste trabalho, foram obtidas 283 amostras de BOATs para 2011 e 302 amostras para 2012, todas referentes a acidentes de trânsito com vítimas fatais ocorridos no perímetro urbano de Goiânia. A região de estudo está representado pela região em laranja da Figura 1.

A falta de padronização dos BOATs e a falta de rigor no seu preenchimento diminuem a sua confiabilidade e a sua aplicação em estudos. Assim, foi feita uma análise para identificar a ausência ou inconsistência de dados nas informações registradas nos boletins. O boletim que não apresentou todas as informações necessárias, como local, tipo e data do acidente, foi excluído da amostra. Depois da análise, foram selecionados 189 boletins para o ano de 2011 (redução de 33,3%) e 283 boletins para o ano de 2012 (redução de 6,3%), representados na Tabela 1.

**Tabela 1: Acidentes de Trânsito com Vítimas Fatais nos Anos de 2011/2012**

<b>ID</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Tipos_ de_Acidentes</b>	<b>Data</b>	<b>Bairros</b>	<b>Logradouros</b>
1	691043,39	8161494,91	Abalroamento	20120103	Jd. Guanabara	Rua carioca
2	685714,58	8156092,74	Colisao	20120104	St.central	Avenida Paranaiba
3	672171,05	8155905,92	Choque_Objeto	20120106	Conj. Vera cruz	Avenida Gercina
4	679250,32	8162911,41	Colisao	20120109	St. Morada do sol	Rua 03
...	...	...	...	...	...	...
472	685844,22	8154878,10	Choque_Objeto	20120115	St. Central	Rua 82

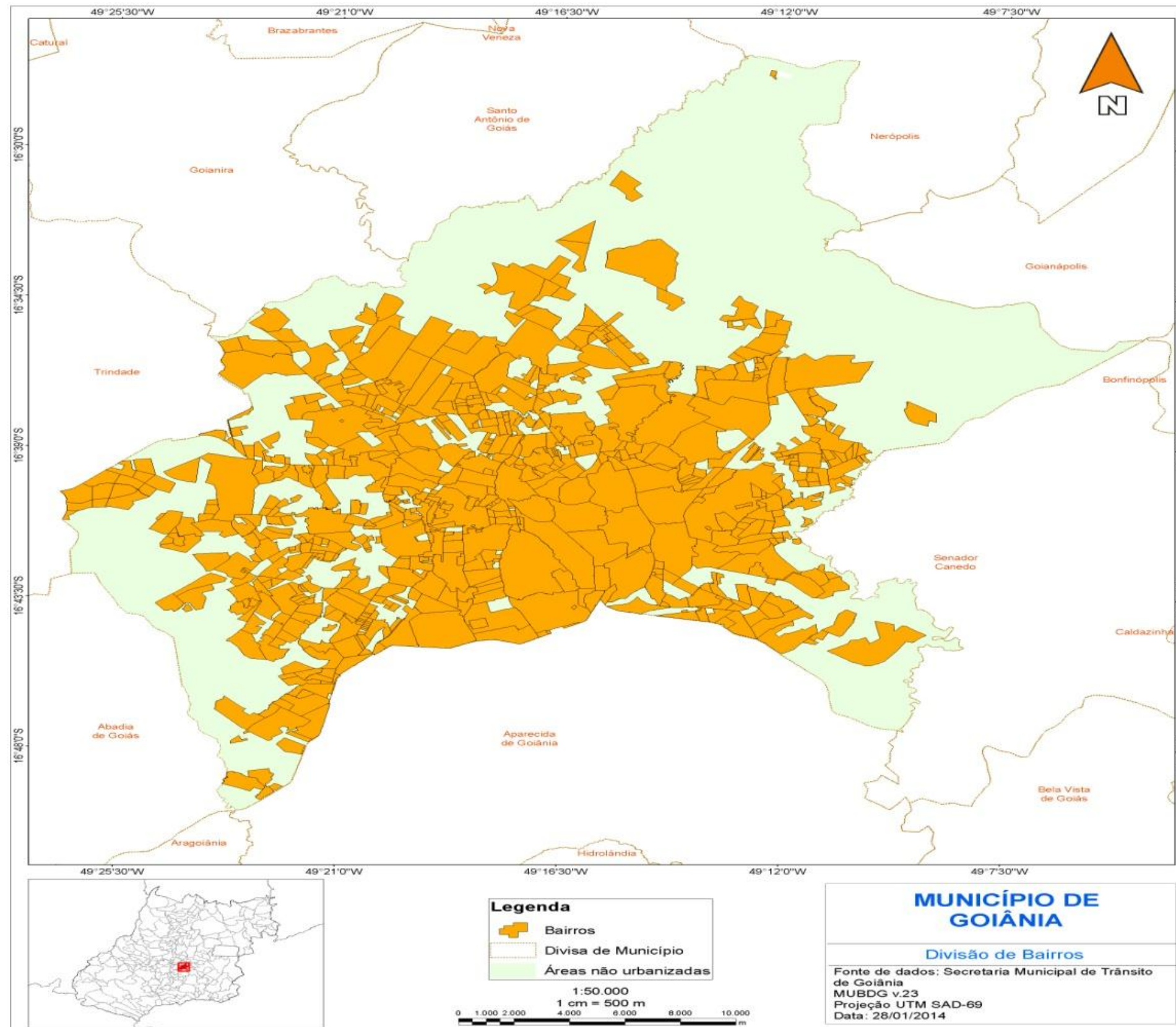


Figura 1: Localização da área de estudo, MUBDG (2012) e IBGE (2012).

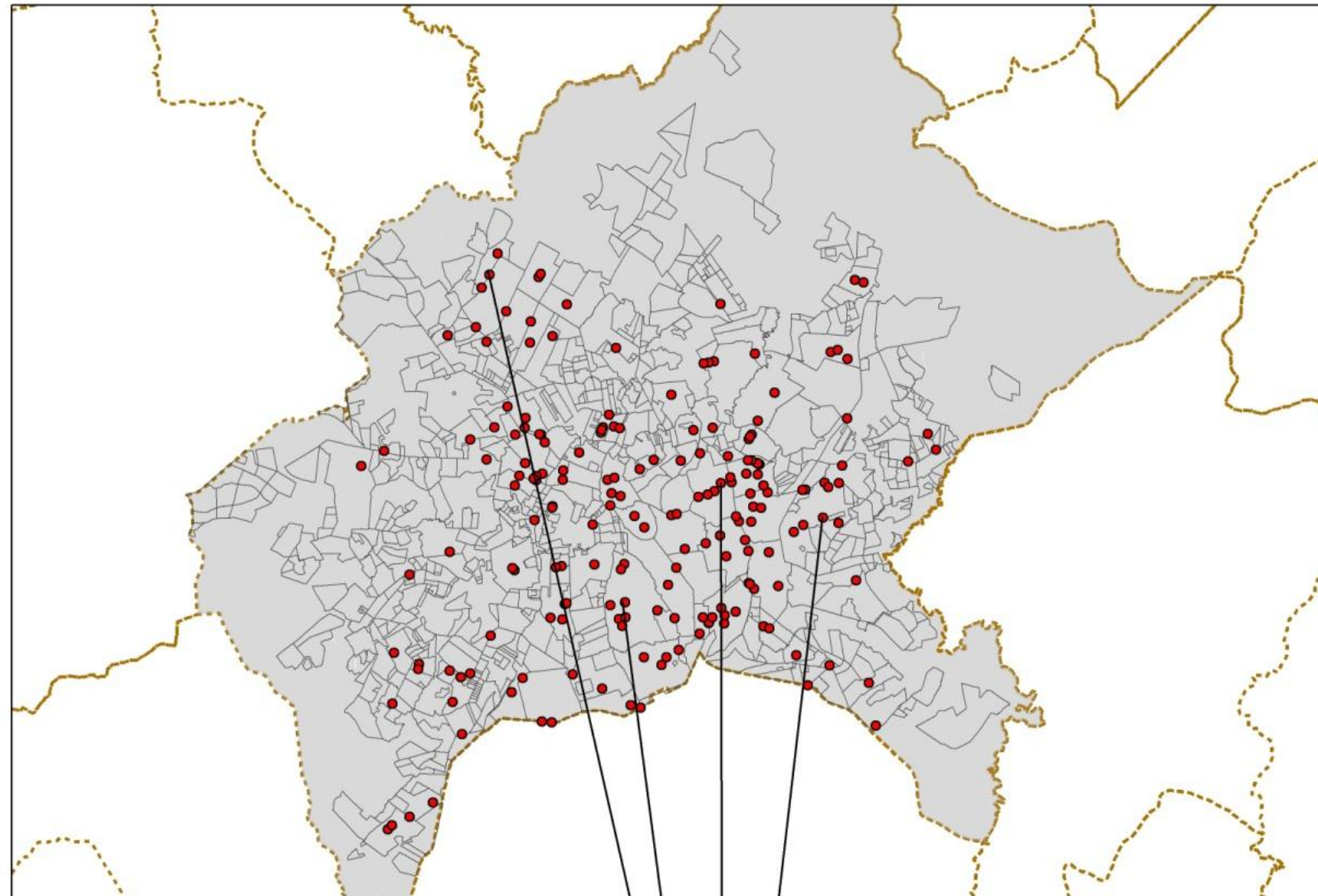
A Tabela 1 apresenta as informações contidas em cinco BOATs (ilustra quais informações estão contidas nos BOATs), entre os escolhidos para a construção do *arquivo de carga* (definido a seguir) para o Sistema de Informações Geográficas (SIG). A coluna Data é do tipo numérico, porém é necessário que a data seja inserida no formato *big-endian* (AAAAMMDD) e sem a utilização do caractere traço para separar ano, mês e dia. A coluna ID é do tipo texto, indexado (*index*) e de preenchimento obrigatório. As colunas da Tabela 1, exceto X e Y, estão no formato alfanumérico devido à compatibilidade com o sistema usado para o processamento dos dados. As colunas X e Y são obtidas a partir de um sistema de posicionamento global (*Global Positioning System, GPS*) modelo Garmin® Etrex Legend H da seguinte forma: o GPS é posicionado no local do acidente para obter as coordenadas UTM. A obtenção destas coordenadas relacionadas ao local do acidente é conhecida como georreferenciamento do acidente. As colunas X e Y representam as coordenadas leste e norte, respectivamente, em metros do local onde ocorreu o acidente. O formato de X e Y é do tipo reais, com uma aproximação centesimal; a baixa precisão não compromete a posição do ponto no polígono do bairro da base cartográfica usada e não afeta o resultado. O GPS foi configurado para obter as coordenadas UTM SAD69, mesmo referencial da base cartográfica adquirida na Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal de Goiânia.

Depois que o georreferenciamento dos acidentes é feito, os dados contidos na Tabela 1 são transferidos para o sistema gerenciador de banco de dados MSAccess da Microsoft, em que são ordenados por identificador (ID) para criar o *arquivo de carga* para o SIG. O MSAccess é usado apenas para converter os dados em banco de dados para servir como carga inicial para o SIG.

Com o objetivo de facilitar as análises espaciais dos dados georreferenciados, foi utilizado um Sistema de Informação Geográfica (SIG) devido à sua capacidade e versatilidade de manipulação de dados alfanumérico e espaciais. O ArcGIS e o TerraView foram os Sistemas de Informação Geográfica utilizados nesta pesquisa: o ArcGIS é um pacote de *software* produzido pelo instituto de pesquisa em sistemas ambientais (*Environmental Systems Research Institute*, ESRI); o TerraView é um aplicativo desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, ambos possuem extensões vetoriais (*shapefile*) e alfanumérico para armazenamento de dados. Um arquivo do tipo *shapefile* armazena posição espacial e pode se unir ao arquivo de atributos com o objetivo de revelar as feições espaciais dos dados.

Para espacializar as coordenadas dos acidentes de trânsito no ArcGIS foi inserida uma base cartográfica disponível, de fácil acesso, que tem uma camada que contém polígonos que representam bairros. Esta base é o Mapa Urbano Digital de Goiânia – MUBDG que tem suas camadas (*layers*) de dados espaciais no formato *shapefile* e pode ser acessado no endereço eletrônico (<http://www.goiania.go.gov.br/do>) da Prefeitura Municipal de Goiânia.

As informações contidas no MSAccess estão no formato (.mdb). A partir dos dados de coordenadas, representados pelos atributos X e Y, criou-se o *layer* ponto que é um *shapefile* (.shp). Esta conversão foi possível a partir do modo de edição de feições do ArcGis, habilitada por meio da ferramenta (*Convert Coordinate Notation*). Com esta conversão e ativação dos *layers*, foi possível apresentar os pontos de acidentes junto ao *layer* BAIRROS visualizada na Figura 2. Os pontos foram sobrepostos aos polígonos que representam os bairros, oriundos da base cartográfica MUBDG, para visualização e se obter uma noção espacial dos fenômenos.



FID	Shape *	X	Y	Tipos de A	Data	Bairros	Logradouro	Ano	ID
0	Point	690097,150491	8156460,21863	Abalroamento	20110704	Jd. Novo Mundo	Av. Campos Elísios	2011	SR
1	Point	679354,052709	8158300,54763	Abalroamento	20110715	Jd. Nova Esperança	Av. Perimetral Norte	2011	SR
2	Point	677390,09865	8164404,39943	Abalroamento	20110717	Jd. Curitiba	Rua JC. 15/ Av. Oriente	2011	CR
3	Point	679255,829032	8164308,40253	Abalroamento	20110720	St. Estrela Dalva	Av. Otávio L. do	2011	SR
4	Point	681688,498637	8158584,85409	Abalroamento	20110723	St. Perim	Av. Mato Grosso do Sul	2011	SR
5	Point	687624,219375	8157173,18808	Abalroamento	20110813	St. Leste Vila Nova	Av. Independência	2011	SR
6	Point	687568,495931	8158830,0642	Abalroamento	20110822	Bro. Santa Geneveva	Av. Meia Ponte	2011	SR
7	Point	682525,522559	8151900,78786	Abalroamento	20110826	Bro. Jardim América	Av. T-9	2011	SR
8	Point	679751,827499	8147323,72856	Abalroamento	20110903	Lot. Faicalville	Av. Rio Verde	2011	SR
9	Point	680177,960372	8156582,14017	Abalroamento	20110907	Esplanada do Anicuns	Av. Anhanguera	2011	SR
10	Point	679157,46241	8156564,52594	Abalroamento	20110912	Bro. São Francisco	Av. Castelo Branco	2011	SR
11	Point	690273,024072	8149501,2646	Abalroamento	20110913	Cj. Fabiana	Av. Senhor do Bonfim	2011	SR
12	Point	685699,245587	8151106,17512	Abalroamento	20110916	St. Bela Vista	Al. Couto Magalhães	2011	SR
13	Point	679789,400131	8155571,58507	Abalroamento	20110918	Bro. Cidade Jardim	Rua José G. Bailão	2011	SR
14	Point	686169,729532	8156449,44074	Abalroamento	20110920	St. Central	Av. Contorno	2011	SR

Figura 2: Representação da espacialização dos atributos.

Para realizar as análises espaciais é necessário fazer a junção das tabelas que possuem os dados alfanuméricos com as tabelas de dados vetoriais, ou seja, a associação das tabelas de atributos com o *layer* de pontos. Após a junção das duas tabelas fez-se novamente a junção dessa nova tabela com o *layer* bairros. Para juntar as tabelas é necessário uma variável que tenha em cada linha representações distintas contida nas duas tabelas. A tabela associada mantém as colunas e linhas da tabela tomada como referência no ArcGIS e embaralha os da segunda seguindo o valor do identificador.

O ArcGIS tem uma ferramenta (*Join*) que faz a junção das tabelas por meio do identificador (ID). Assim, o SIG adiciona na tabela inicial os dados correspondentes da outra tabela inserida na operação, contendo todas as informações, provenientes dos BOATs e do MUBDG. Tal procedimento foi realizado para os dados de 2011 e 2012. Dessa forma, obteve-se uma forma de representação vetorial do tipo polígono para os acidentes em cada ano. A sobreposição das informações foi necessária para possibilitar o cálculo de indicadores de Estatística Espacial, tais como: os índices de autocorrelação espacial de Moran global e local, a média móvel espacial e o estimador de intensidade referente aos bairros do município de Goiânia. As Figuras 3 e 4 mostram os acidentes de trânsito com vítimas fatais georreferenciados nos anos de 2011 e 2012.

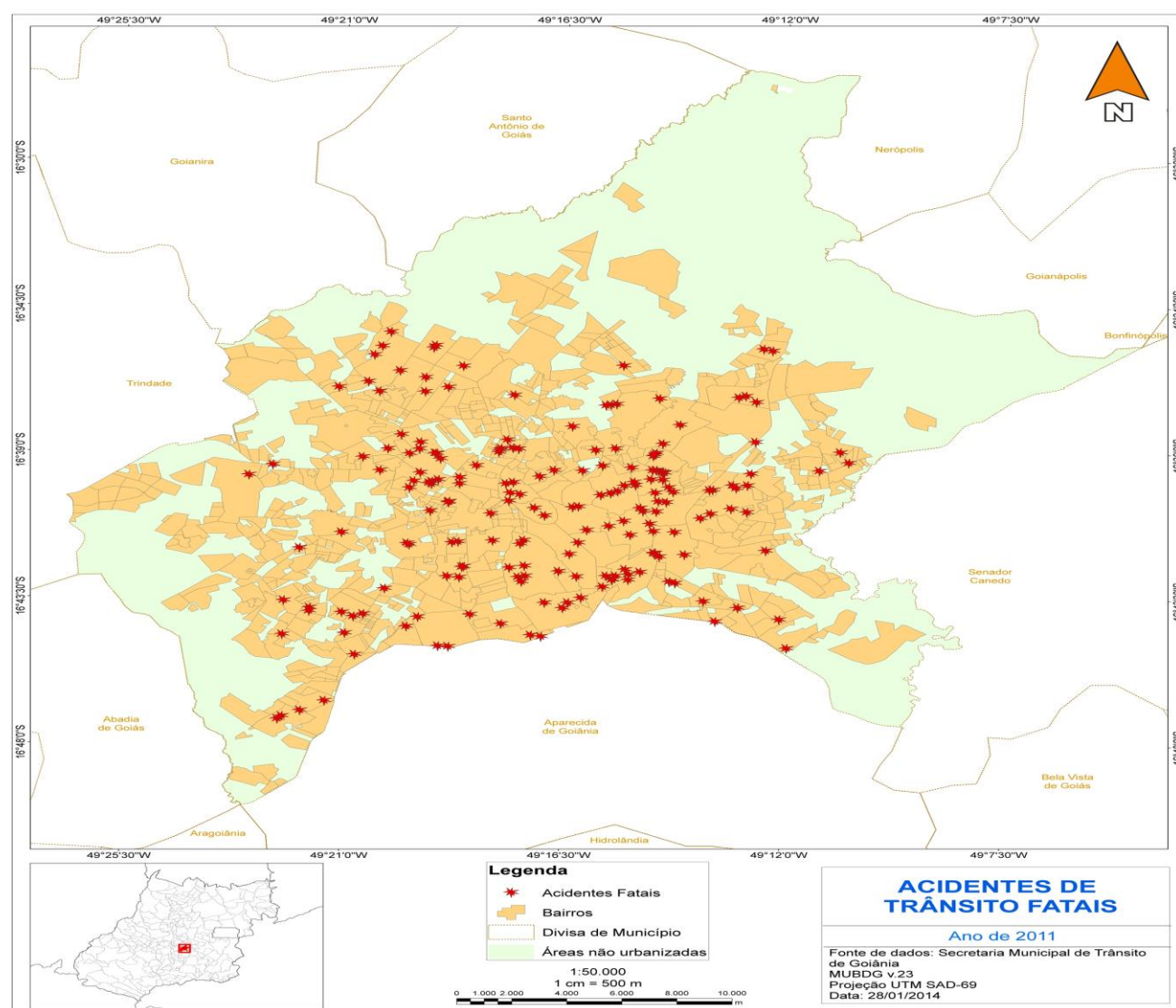


Figura 3: Georreferenciamento dos Acidentes de Trânsito com vítimas fatais – 2011.

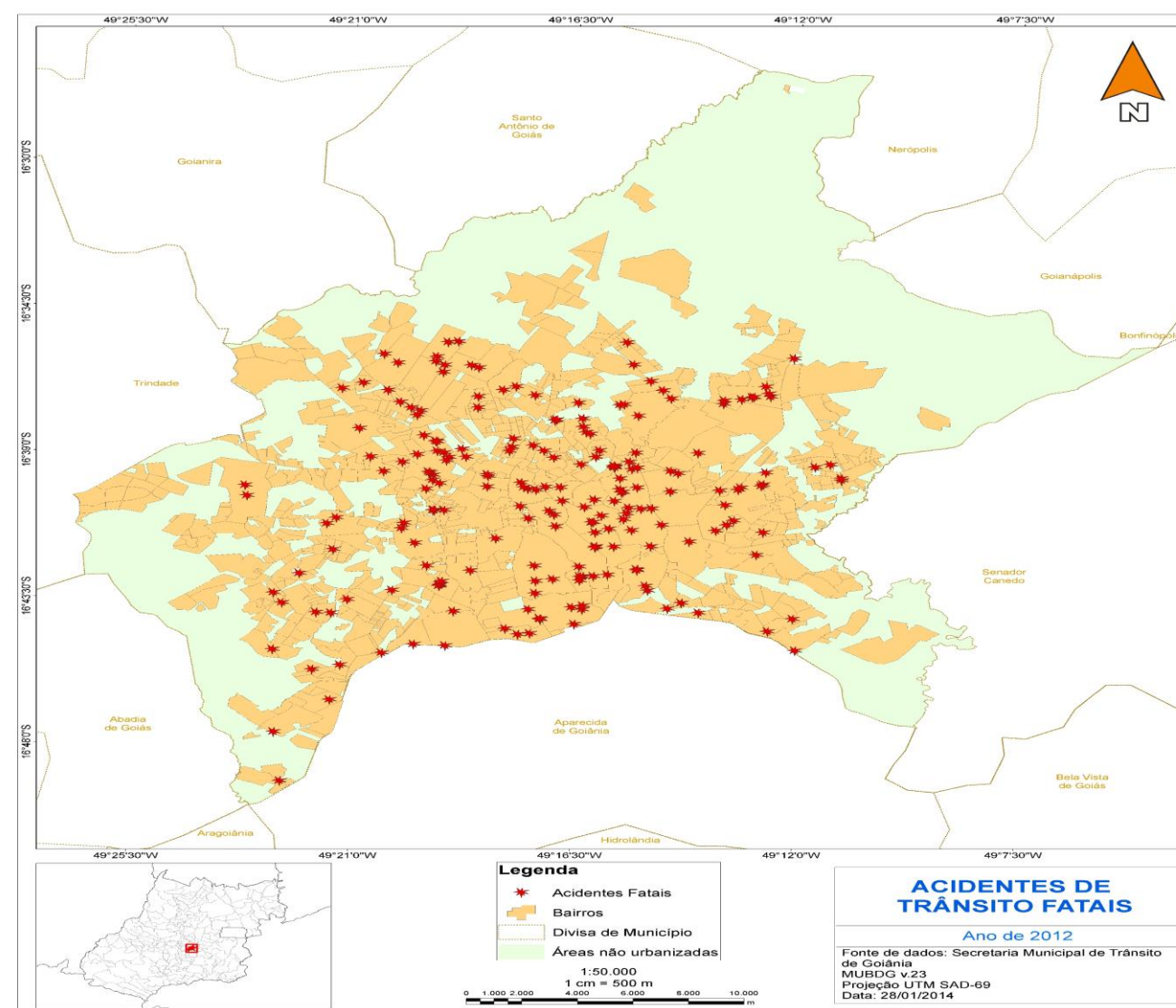


Figura 4: Georreferenciamento dos Acidentes de Trânsito com vítimas fatais – 2012.



Com o objetivo de quantificar o número de acidentes fatais ocorrido em cada bairro foi realizada uma operação de soma sobre o campo Bairros. A operação foi realizada no ArcGIS, para tal procedimento, a tabela de atributos foi visualizada através da opção (*Open Attribute Table*) e com a ferramenta *Summarize* foi possível criar uma nova tabela contendo a informação adicional da soma de acidentes referentes a cada bairro. Para exemplificar, no Setor Leste Vila Nova, onde foram registrados 10 acidentes. Logo, haviam dez linhas referentes a cada ponto, por sua vez, ligados ao seu respectivo acidente. A ferramenta de soma criou uma nova tabela mantendo os atributos do campo bairro e adicionando um novo, chamado cnt\_bairro, representando o total de acidente em cada bairro. No caso do Setor Leste Vila Nova, o valor do cnt\_bairro foi 10, como mostra a Figura 5.

OID	Bairros	Cnt Bairro
65	St. Leste Vila Nova	10
72	St. Pedro Ludovico	8
27	Jd. Novo Mundo	7
6	Bro. Jardim América	6
79	St. Sul	6
81	St. Universitário	6
58	St. Campinas	5
9	Bro. São Francisco	4
20	Jd. Europa	4
57	St. Bueno	4
60	St. Central	4
73	St. Perim	4
1	Bro. Capuava	3
19	Jd. Curitiba	3

**Figura 5: Quantificação do número de acidentes por bairro**

Com o banco de dados inserido no SIG foi possível gerar os índices estatísticos e os mapas temáticos por meio de ferramentas de estatística espacial, tais como: Estimador de Rosenblatt-Parzen, Média Móvel Espacial, Índices de

Autocorrelação Global e Local de Moran. Os padrões espaciais considerados dizem respeito à distribuição espacial dos acidentes de trânsito com vítimas fatais ocorridos no município de Goiânia, cuja localização está associada a áreas delimitadas por polígonos que representam os bairros do município.

Para explorar a variação da tendência espacial e estimar a intensidade pontual dos acidentes de trânsito na região de estudo, foram calculados a média móvel espacial e o estimador de intensidade de Rosenblatt-Parzen, ambos representados por mapas temáticos.

Os indicadores de autocorrelação espacial Global e Local de Moran foram calculados com o objetivo de verificar o grau de associação espacial existentes entre os acidentes ocorridos nos bairros da região de estudo. Esta associação pode ser analisada pelos índices de Moran e mapas temáticos gerados a partir destes índices, Box map, Moran map, Lisa Map.

## **CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA**

Neste capítulo é apresentada uma breve revisão dos principais métodos e técnicas necessários para a análise dos dados de acidentes de trânsito com vítimas fatais na cidade de Goiânia. O conceito de análise espacial de dados, as principais ferramentas matemáticas, como matriz de proximidade espacial, e o cálculo da medida da variação de objetos no espaço geográfico serão introduzidas.

### **3.1 Análise Espacial de Dados e Geoprocessamento**

Análise espacial é o estudo quantitativo de eventos, tais como os acidentes de trânsito, que possuem uma referência espacial. Este tipo de análise surgiu da necessidade de analisar e interpretar o arranjo espacial dos eventos em uma base de dados georreferenciada, identificando a associação espacial entre eles por meio de ferramentas de Estatística [2].

Os métodos de análise espacial podem ser sistematizados em visualização e análise exploratória dos dados espaciais. Na visualização, realizada por gráficos e mapas, é possível identificar padrões na distribuição espacial dos dados e, com isso, gerar hipóteses a partir do arranjo espacial identificado. A Análise exploratória dos dados espaciais são técnicas que descrevem e visualizam dados espaciais e são essenciais ao desenvolvimento das etapas da modelagem estatística espacial [4].

A Estatística é a ciência que se ocupa de coletar, organizar, analisar e interpretar dados e tem sido utilizada na pesquisa científica na otimização em análise de decisões. A estatística pode ser subdividida em duas áreas: a estatística descritiva, que consiste em métodos para organizar, exibir e descrever dados; e a estatística inferencial, que consiste em métodos que utilizam resultados de amostras para auxiliar na tomada de decisões, ou na realização de previsões sobre uma população [26].

A Estatística espacial é um ramo da estatística que permite, por meio de técnicas descritivas e inferenciais, detectar, caracterizar e fazer inferências sobre a distribuição espacial dos dados, incorporando o espaço na análise. O princípio fundamental da estatística espacial é a análise exploratória de dados espaciais, que se baseia nos aspectos da distribuição espacial da base de dados, permitindo analisar padrões de associação espacial (*clusters*) e identificar observações atípicas (*outliers*) [3].

Os fenômenos espaciais que compõem uma base de dados podem ser Discretos (espaços que contém entidades do mundo real) ou Contínuos (informações presentes em todas as posições). Os acidentes de trânsito, como são um fenômeno que ocorre no espaço e serão analisados por bairros, são considerados um fenômeno espacial discreto [2].

As análises espaciais deste trabalho foram realizadas em um sistema computacional. Com o avanço da tecnologia de informática, o tratamento da análise de dados, por meio da estatística espacial, utilizando-se computadores como instrumentos de representação de dados espaciais se tornou menos cansativo e, com essa evolução, surge o conceito de Geoprocessamento.

Geoprocessamento é um conjunto de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, que opera sobre uma base de dados georreferenciada. Pelo geoprocessamento, é possível mensurar as propriedades de uma variável e seus relacionamentos, levando-se em conta a localização espacial do fenômeno em estudo, permitindo, assim, a análise e visualização dos dados por meio de uma tecnologia conhecida como Sistema de Informação Geográfica (SIG) [30].

O SIG é um sistema computacional que permite realizar operações de gerenciamento de banco de dados e fazer a integração das representações dos atributos de interesse para obter respostas combinadas, relatórios ou cenários que servirão de

apoio a decisões sobre uma área em estudo. Para realizar estas operações, ele depende da existência prévia de um banco de dados georreferenciados, ou seja, de dados que descrevem fenômenos geográficos e que possuem um registro referenciado a um sistema de coordenadas conhecidas [14].

Os dados georreferenciados se caracterizam a partir de três componentes, características não espaciais que descreve o fenômeno estudado, tais como o nome e o tipo da variável; características espaciais, que informa a localização espacial do fenômeno, associada a propriedades geométricas e topológicas; características temporais que identifica o tempo para o qual tais dados são considerados [7].

## **3.2 Técnicas de Análise Espacial**

As técnicas de análise exploratória de dados espaciais utilizadas neste trabalho são: (a) Estimador de intensidade pontual de Rosenblatt-Parzen, com a finalidade de quantificar a intensidade dos agrupamentos espaciais de acidentes de trânsito com vítimas fatais; (b) Visualização da distribuição espacial dos acidentes de trânsito pela Média Móvel Espacial e pelos mapas coropléticos (mapas que retratam uma superfície estatística), indicando o local dos acidentes; (c) Indicadores de autocorrelação espacial pelo Índice Global de Moran, para mostrar o efeito global da correlação espacial, e pelo índice Local de Moran, para mostrar os efeitos da correlação local, buscando identificar agrupamentos espaciais.

### **3.2.1 Estimador de Intensidade de Rosenblatt-Parzen**

O estimador de intensidade de Rosenblatt-Parzen ou Kernel é um método utilizado para analisar a distribuição espacial de eventos por meio de uma estimativa espacial suavizada da densidade pontual dos eventos sobre a área estudada. Para tanto, é

feito um ajuste por meio de uma função bidimensional sobre os eventos considerados que compõem uma superfície, cujo valor seja proporcional à intensidade de amostras por unidade de área. Esta função realiza uma contagem de todos os pontos dentro de uma região de influência e pondera-os pela distância de cada um à localização de interesse [4].

O estimador de intensidade tem como parâmetros básicos um raio de influência que define a vizinhança do ponto a ser interpolado e controla a suavização da superfície gerada a partir da intensidade pontual do evento, e uma função de estimação  $k(\cdot)$  conhecida como função núcleo que é um interpolador não paramétrico (não utiliza média e desvio padrão como parâmetros) e tem a função de atribuir pesos para os pontos dentro do raio  $\tau$  estabelecendo um parâmetro de alisamento [21].

Para a função núcleo, é possível usar várias funções, das quais podemos destacar: distribuição normal, função triangular, função exponencial negativa. Por estar analisando o número de acidentes por bairro, neste trabalho, foi utilizada a função quártica devido a sua capacidade de ponderar os pontos mais próximos do que os mais distantes, com um decrescimento gradual [11].

$$k(h) = \frac{3}{\pi} (1 - h^2)^2 \quad (1)$$

No qual  $h$  é a distância entre a localização em que desejamos calcular a função e o evento desejado.

O estimador de intensidade Kernel será computado a partir dos valores das amostras  $\{z_1, \dots, z_n\}$  contidas num raio de tamanho  $\tau$ , e da distância euclidiana  $d_{ij}$  entre a  $i$ -ésima posição e a  $j$ -ésima amostra. As Equações 2 e 3 representam o estimador de intensidade Kernel e a distância euclidiana, respectivamente [31].

$$\hat{z}_i = \frac{\sum_{j=1}^n k \left( \frac{d_{ij}}{\tau} \right) z_j}{\sum_{j=1}^N k \left( \frac{d_{ij}}{\tau} \right)}, d_{ij} \leq \tau \quad (2)$$

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (3)$$

### 3.2.2 Medidas de variabilidade

No processo de amostragem dos dados de acidentes de trânsito, foi obtida uma amostra não regular de pontos dentro da área urbana de Goiânia, para estabelecer uma relação espacial de cada área (bairros) com as demais é preciso obter uma grade regular destes dados, para obter esta grade regular foi utilizado neste trabalho uma estrutura denominada de Matriz de Proximidade Espacial.

#### 3.2.2.1 Matriz de Proximidade Espacial

A matriz de proximidade espacial é uma matriz quadrada  $W(n \times n)$ , cujos elementos  $w_{ij}$  refletem a intensidade da interdependência (grau de vizinhança) existente entre as regiões  $i$  e  $j$ . Os valores de  $w_{ij}$  podem ser definidos usando critérios diferentes: (a) valores baseados no centroide das regiões  $A_i$  e  $A_j$ ; (b) através da contiguidade (compartilhamento de fronteiras) entre as regiões  $A_i$  e  $A_j$ . Neste trabalho, foi adotado o critério de contiguidade para a matriz de proximidade espacial onde,  $w_{ij} = 1$  se a região  $A_i$  compartilha uma fronteira ou lado comum com a região  $A_j$  e  $w_{ij} = 0$  caso contrário. A Figura 6 mostra uma matriz de proximidade espacial [4].

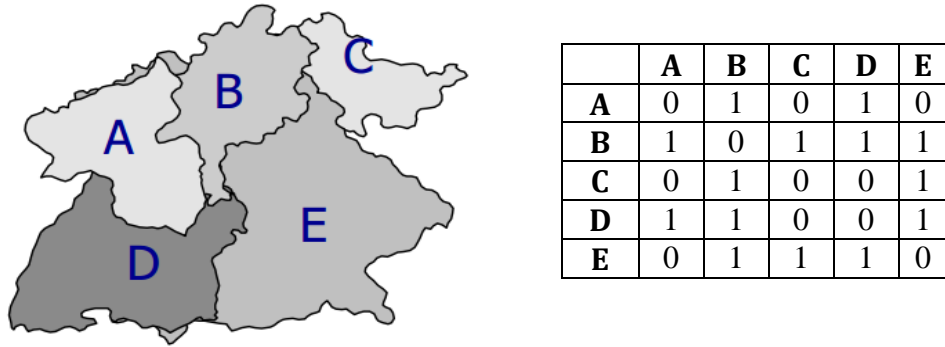


Figura 6: Matriz de Proximidade Espacial [6].

Para simplificar os cálculos dos índices de autocorrelação espacial (definidos a seguir), é indicado realizar uma operação para normalizar as linhas da matriz criando uma matriz de proximidade espacial normalizada ( $W_n$ ). Para realizar a normalização de uma linha da matriz de proximidade espacial, basta dividir cada elemento  $w_{ij}$  da matriz pela soma dos números que correspondem à linha da matriz [36].

$$w_i = \sum_j w_{ij} = 1 \quad (4)$$

A Figura 7 mostra que a região D faz fronteira com as regiões A, B e E. Portanto na matriz de proximidade espacial, os elementos  $w_{DA}$ ,  $w_{DB}$  e  $w_{DE}$  são todos iguais a 1 e a linha correspondente possui soma 3, na matriz de proximidade espacial normalizada cada um dos elementos da linha é dividido por 3.

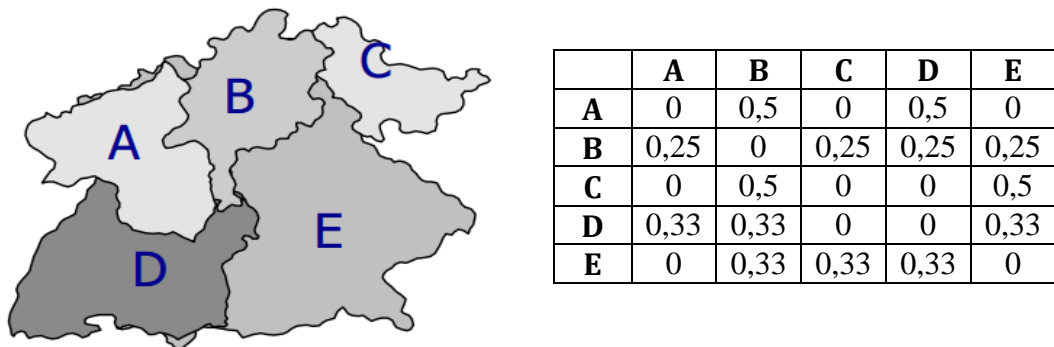


Figura 7: Matriz de Proximidade Espacial Normalizada [6].



A matriz de proximidade espacial criou uma grade regular de pontos a partir de uma amostra não regular. Para fazer uma estimativa de pontos em locais que ainda não foram amostrados, é necessário o uso de um interpolador. Neste trabalho foi utilizada como interpolador a Média Móvel Espacial, por possibilitar uma boa visualização gráfica e ser uma ferramenta disponível no SIG TerraView.

### 3.2.2.2 – Média Móvel Espacial

A média móvel espacial, também chamada de média dos valores dos vizinhos, é um procedimento utilizado para avaliar as variações dos dados, relacionando um atributo com a matriz de proximidade espacial. Por meio da média móvel espacial, é possível reduzir a variabilidade espacial, ou seja, diminuir a intensidade das variações, produzindo uma superfície mais suave (homogênea) dos dados, possibilitando uma visualização dos efeitos locais e globais da distribuição dos acidentes de trânsito com vítimas fatais [4].

A média móvel  $\mu_i$  associada ao atributo  $z_i$ , relativo à  $i$ -ésima área, pode ser calculada a partir dos elementos  $w_{ij}$  da matriz normalizada de proximidade espacial  $W_n$ , tomando-se simplesmente a média dos vizinhos. A média móvel é calculada pela Equação 5.

$$\mu_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot z_i \quad (5)$$

### 3.2.3 Modelos de Dependência Espacial

A autocorrelação espacial, correlação de uma variável com ela mesma, é a ausência de aleatoriedade de uma variável devido à sua distribuição espacial. A

autocorrelação espacial de um evento é calculada por meio dos índices Global e Local de Moran (definidos a seguir), que representam a correlação do atributo de uma variável numa determinada área com os valores dessa mesma variável em áreas vizinhas, ou seja, é a avaliação da correlação de uma variável em relação a sua localização espacial e estima o quanto o valor observado de um atributo numa região é dependente dos valores desta mesma variável nas localizações vizinhas [19, 24].

### 3.2.3.1 Índice Global de Moran

O índice global de Moran ( $I$ ) é a estatística que quantifica o grau de dependência espacial ou não aleatoriedade presente em um conjunto de dados, e tem por objetivo medir a correlação espacial. O índice é usado para detectar o afastamento de uma distribuição espacial aleatória permitindo assim encontrar similaridades de áreas por meio da matriz de vizinhança normalizada e a média global do atributo analisado [9].

O índice global de Moran, considerando apenas o primeiro vizinho, é dado pela Equação 6, no qual  $n$  é número de áreas (bairros),  $w_{ij}$  é um elemento da matriz de proximidade espacial  $W_n$ ,  $z_i$  é o valor do atributo considerado na área  $i$ ,  $z_j$  é o valor do atributo considerado na área  $j$  e  $\bar{z}$  é o valor médio do atributo na região de estudo.

$$I_G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (z_i - \bar{z})(z_j - \bar{z})}{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2} \quad (6)$$

O índice global de Moran pode ser calculado por matrizes de proximidade espacial de maior ordem, representado pela letra  $s$  (vizinhos dos vizinhos) para estimar a função de autocorrelação para cada ordem de vizinhança, como mostra a Equação 7.

$$I_{G^{(s)}} = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w^{(s)ij} (z_i - \bar{z})(z_j - \bar{z})}{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2} \quad (7)$$

Os valores do índice de Moran, assim como nas correlações lineares, estão em um intervalo que varia de -1 a 1, em que os índices positivos indicam a existência de áreas com valores similares entre vizinhos, os valores próximos de zero indicam ausência de autocorrelação espacial e os índices negativos indicam a dissimilaridade entre os valores da variável e a sua localização [9].

O índice de Moran é um indicador estatístico de autocorrelação e, sendo assim, apresenta uma probabilidade de ter ocorrido devido ao acaso, portanto, é importante estabelecer a sua validade estatística. Para avaliar a significância do índice, é necessário associar este indicador a uma distribuição estatística ou através de um teste denominado pseudossignificância. Trata-se de uma simulação de distribuição por permutações aleatórias nos valores dos atributos associados às regiões, onde cada permutação gera um novo arranjo espacial, pois os valores são redistribuídos entre as áreas. Como apenas um dos arranjos corresponde à situação observada, é construída uma situação empírica do índice global de Moran, permitindo a realização do teste de hipótese [10]:

Hipótese nula ( $H_0$ ): representa a ausência de correlação espacial.

Hipótese alternativa ( $H_1$ ): representa a existência de correlação espacial

$H_0: I = 0$

$H_1: I \neq 0$

A significância estatística ( $p$ -valor) representa um índice de confiabilidade de um resultado, quanto mais alto este índice, menos se pode acreditar que a relação observada representa uma autocorrelação. Se o nível de significância do teste ( $p$ -valor) for menor que o nível estipulado neste trabalho (5%) rejeita-se a hipótese nula de

ausência de correlação espacial. Caso contrário, se o  $p$ -valor for maior que o nível estipulado, não se rejeita a hipótese nula [26].

### 3.2.3.2 Índice Local de Moran

O índice local de Moran é um indicador de autocorrelação espacial que permite a identificação de agrupamentos espaciais (*clusters*) significativos de um conjunto de dados. O índice local de Moran se diferencia do índice global por gerar um índice de associação espacial para cada área considerada, possibilitando a identificação de áreas que possuem similaridades em relação aos eventos mais próximos, possibilitando uma melhor visualização dos efeitos locais da distribuição espacial dos acidentes de trânsito [2]. O índice local de Moran é expresso pela Equação 8. No qual  $z_i$  é o valor da variável normalizada na região  $i$  e  $w_{ij}$  é o elemento da matriz de proximidade espacial. A significância estatística do índice de Moran local é computada de forma similar ao caso do índice global de Moran.

$$I_L = \frac{z_i \sum_j w_{ij} z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (8)$$

### 3.2.3.3 Representações Temáticas dos Indicadores de Autocorrelação

Uma maneira de Analisar a dependência espacial e a identificação de *outliers*, pontos extremos, espaciais é através do diagrama de espalhamento de Moran e o *Box Map*.

O diagrama de espalhamento de Moran é uma ferramenta gráfica derivada do índice global de Moran. É construído a partir de um gráfico bidimensional  $Z \times WZ$ , em que  $Z$  representa os valores normalizados e  $WZ$  a média dos desvios dos atributos dos vizinhos da unidade selecionada. O diagrama é dividido em quatro quadrantes. Q1 (valores positivos, médias positivas) e Q2 (valores negativos, médias negativas): indicam pontos de associação espacial positiva, no sentido de que uma localização possui vizinhos com valores semelhantes; Q3 (valores positivos, médias negativas) e Q4 (valores negativos, médias positivas) indicam pontos de associação espacial negativa, no sentido de que uma localização possui vizinhos com valores distintos. O diagrama de espalhamento de Moran pode ser representado através de um mapa denominado *Box Map*, em que pontos pertencentes a cada quadrante são representados por cores diferentes no mapa, permitindo a identificação de diferentes tipos de semelhanças e agrupamentos [1].

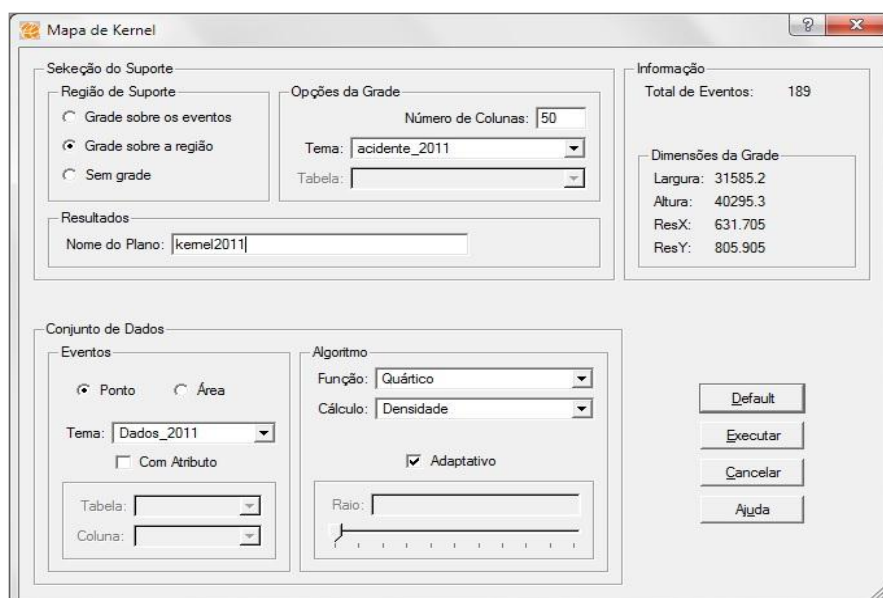
Quando forem feitas as análises dos indicadores locais de autocorrelação e se verificar a existência de correlação local significativamente diferente do resto dos dados, é criado um mapa denominado *LISA MAP*, utilizado para indicar estas regiões. O mapa de Moran é uma representação no qual os valores do *LISA Map* foram considerados, ou seja, apresentam uma correlação espacial significativa, com um nível descritivo do teste menor que 5%. O nível de significância deve ser estabelecido antes de o experimento ser realizado e corresponde ao risco que se corre de rejeitar uma hipótese verdadeira ou aceitar uma hipótese falsa, neste trabalho foi considerado satisfatório o limite de 5% de probabilidade de erro. Os dados que apresentarem um  $p\text{-valor} < 0,05$  são destacados, porém, aparecem classificados em quatro grupos, conforme sua localização no quadrante do gráfico de espalhamento. Os demais objetos ficam classificados como sem significância [20].

## CAPÍTULO 4 – RESULTADOS

Este capítulo apresenta a descrição das análises dos resultados obtidos no estudo da distribuição espacial dos acidentes de trânsito com vítimas fatais. A partir das informações adquiridas com os boletins de acidente de trânsito, foi realizado o georreferenciamento dos acidentes e, com as coordenadas dos eventos, foi elaborada uma base de dados que foi importada para os sistemas de informação geográfica (ArcGIS 10.0 e TerraView 4.3.2).

### 4.1 Estimador de Intensidade de Rosenblatt-Parzen

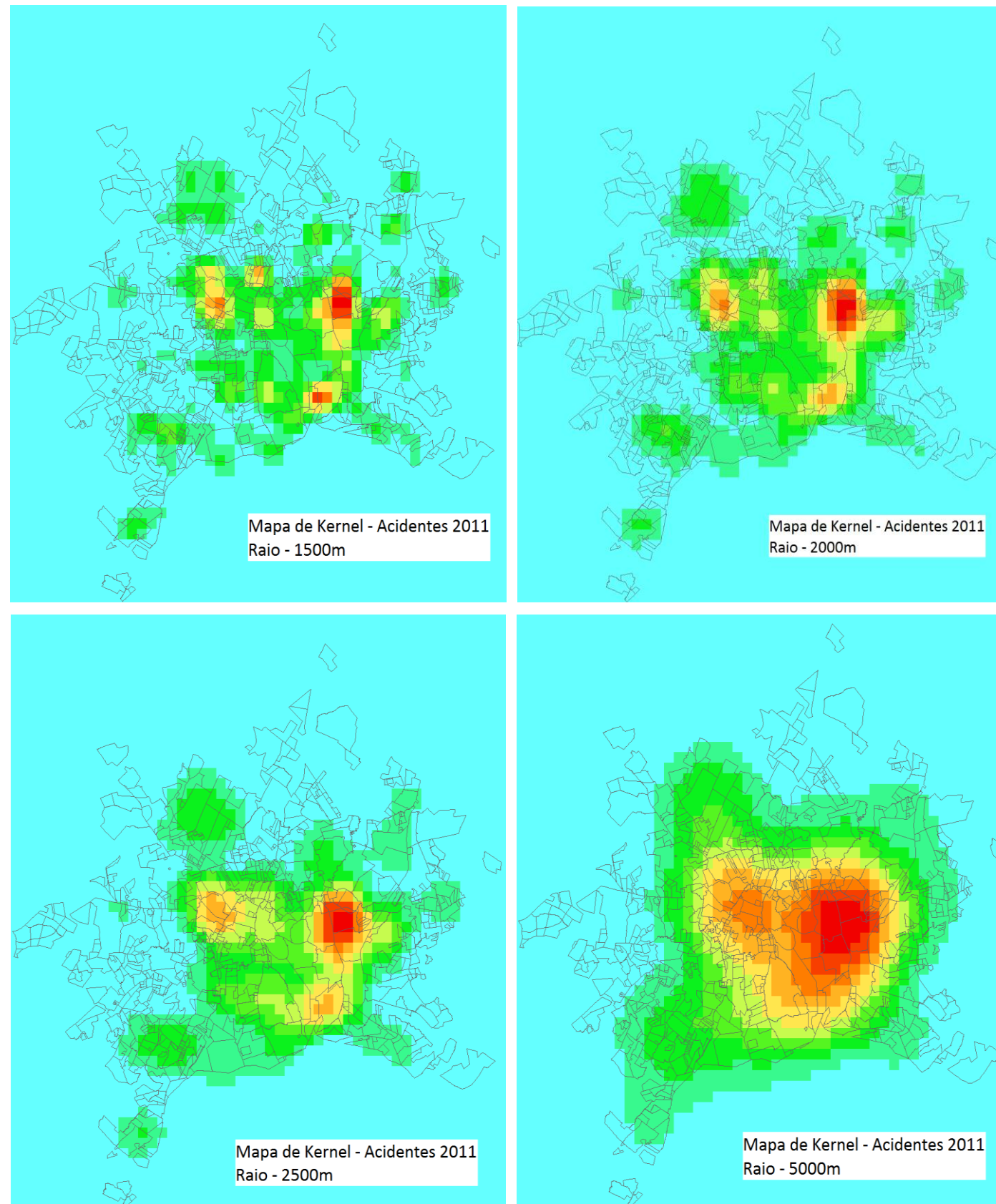
As Figuras 9 e 10 mostram os resultados da aplicação do estimador de intensidade de Rosenblatt-Parzen ou Kernel para a distribuição espacial dos acidentes de trânsito com vítimas fatais ocorridos em Goiânia nos anos de 2011 e 2012. Os mapas de Kernel são gerados pelo SIG TerraView 4.2.2 a partir dos procedimentos: acesse o menu Análise → Mapa de Kernel; na janela aberta, são definidos os parâmetros conforme apresentado na Figura 8.



**Figura 8: Procedimentos no TerraView Para Gerar o Mapa de Kernel.**

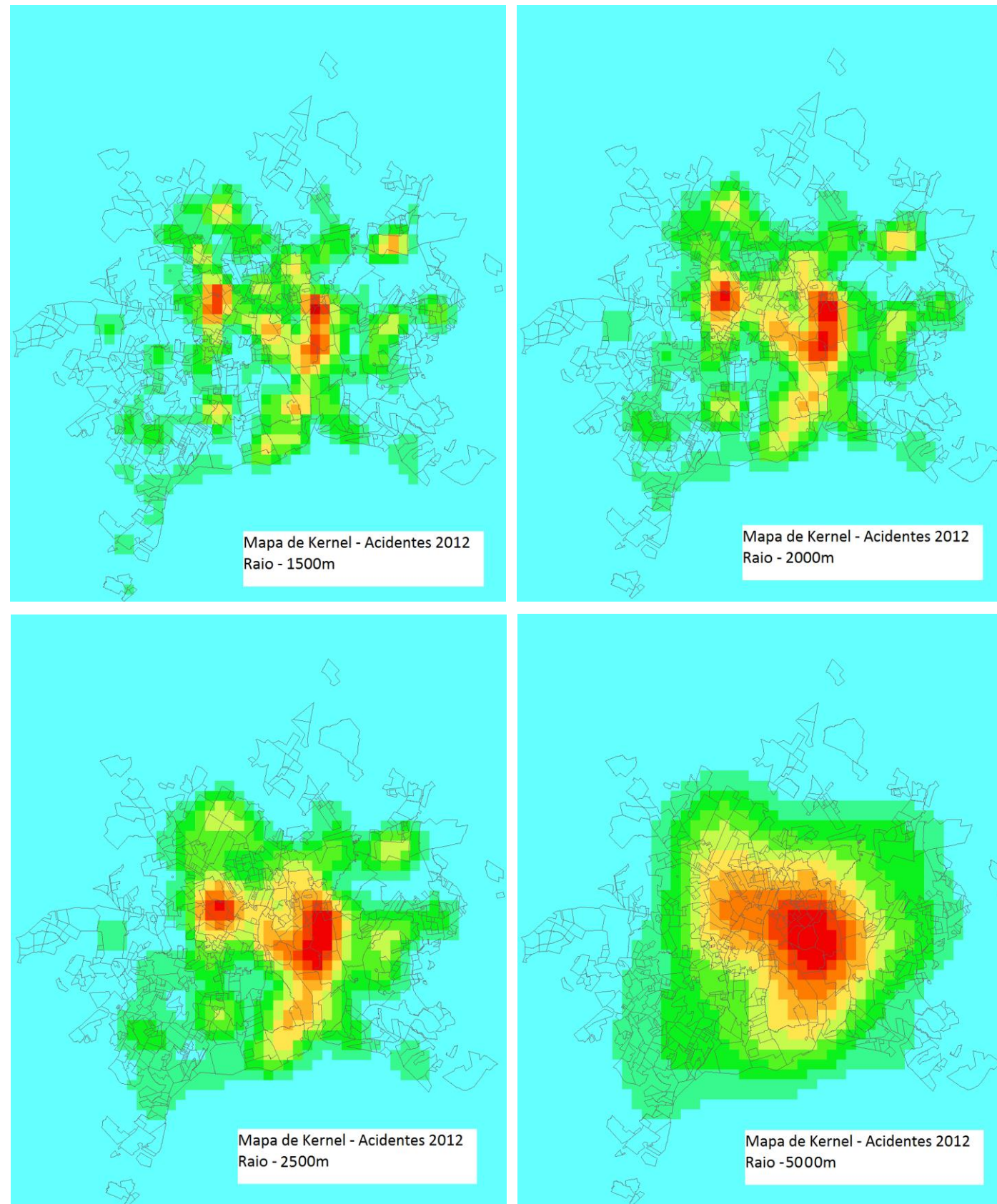
A opção de Região de Suporte indica em que se baseia o retângulo que envolve a área de estudo do mapa de Kernel. Nesse trabalho, foi marcada a opção Grade sobre a região para que fosse selecionado o tema de acidente\_2011 como limite, pois o mesmo contém os limites dos bairros. A escolha pela opção Grade sobre eventos foi desconsiderada porque selecionaria apenas a área correspondente aos bairros onde o número de ocorrência de acidentes é maior que zero, ou seja, os bairros sem registro de ocorrência ficariam fora da área do mapa de Kernel. Sobre a opção Conjunto de Dados, foi selecionado o evento do tipo ponto, referente aos pontos georreferenciados dos locais de acidentes.

A opção “Com atributo” serve para atribuir peso para determinada coluna de uma tabela em um eventual cálculo ponderado, o que não foi o caso desse trabalho, já que a distância dos pontos foi o critério utilizado para ponderar a contagem dos pontos. O algoritmo adotado para o mapa de Kernel foi a Função Quártico, também conhecida como função Kernel de quarta ordem (apresentada no capítulo 3 deste trabalho).



**Figura 9: Distribuição dos Acidentes de Trânsito com Vítimas Fatais - 2011.**





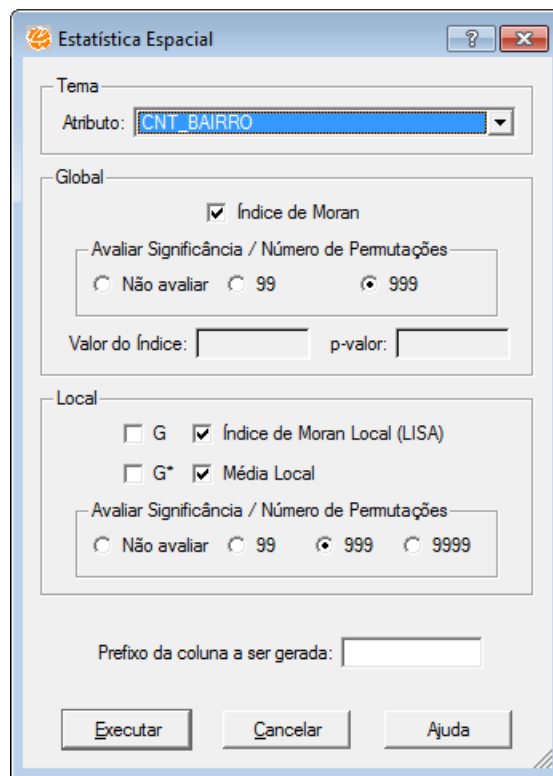
**Figura 10: Distribuição dos Acidentes de Trânsito com Vítimas Fatais - 2012.**

Observe nas Figuras 9 e 10 que o estimador de intensidade de Kernel cria uma superfície suavizada no mapa de Goiânia com níveis de intensidade, que variam de acordo com a coloração. A região em vermelho significa densidade muito alta, o amarelo densidade média, a verde densidade baixa e o azul com uma densidade muito baixa. O estimador realizou uma contagem de todos os pontos, que correspondem aos acidentes, dentro de uma região de influência delimitada pelo raio de busca, ponderando-os pela distância de cada um à localização de interesse e, assim, gerando uma superfície suavizada a partir da intensidade pontual. Com um raio de busca menor (1.500 m), o estimador evidencia mais os efeitos locais da intensidade pontual; com um raio de busca maior (5.000 m), o estimador evidencia os efeitos globais, indicando uma maior concentração dos acidentes no centro da cidade.

### **4.3 Indicadores de Autocorrelação Espacial**

Os indicadores de autocorrelação espacial foram calculados por meio das ferramentas de estatística espacial do SIG TerraView 4.3.2. O procedimento para a obtenção dos índices foi por meio do menu Análise → Estatística Espacial, como mostra a Figura 11.

No campo Tema foi selecionado CNT\_BAIRRO (soma dos acidentes em cada bairro) como atributo sobre o qual se deseja verificar a presença de correlação espacial. Para se analisar a importância estatística dos índices global e local de Moran, através do teste de pseudossignificância, foi marcado no campo Avaliar Significância 999 para o número de permutações aleatória, este valor foi escolhido por ser o maior número de permutações disponibilizado pelo software TerraView.



**Figura 11: Ferramentas de Estatística Espacial do SIG TerraView.**

Ao final desta operação, o SIG cria uma tabela com os valores de: (Z) valores normalizados; (WZ) média dos desvios dos atributos dos vizinhos da unidade selecionada; Média Móvel Espacial; Índice de Moran; Box Map; LISA Sig.; LISA Map; e Moran Map. A Tabela 2 mostra os resultados para os anos 2011 e 2012.

**Tabela 2: Valores gerados pelo TerraView para os anos 2011/2012.**

ID	Z	WZ	Média Móvel	Índice Moran	Box Map	LISA Sig.	LISA Map	Moran Map
1	-0,27514	-0,27514	0	0,083239	2	0	3	2
2	0,72485	0,05818	0,33	0,004637	1	0,322	0	0
3	-0,30780	0,19219	0,5	-0,06289	4	0,163	0	0
4	-0,27514	-0,2751	0	0,083239	2	0	3	2
5	7,72485	0,19544	0,47	1,659973	1	0,202	0	0
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
472	...	...	...	...	...	...	...	...

Na Tabela 2, as colunas *Z* e *WZ* são utilizadas para definir o diagrama de espalhamento de Moran, no qual os valores representam as coordenadas (*Z*, *WZ*) do diagrama. Os valores definidos na coluna Média Móvel, resultados encontrados a partir da Equação 5, são utilizados para representar o mapa de superfície suavizada da média móvel espacial. Os valores correspondentes à coluna Índice de Moran, definidos pelo SIG a partir da Equação 6, determinam os valores do índice global de Moran. Na coluna Box Map estão indicados em qual quadrante cada ponto, de coordenada (*Z*, *WZ*), se encontra no diagrama de espalhamento de Moran. A coluna Lisa Sig. apresenta os valores do índice local de Moran definidos segundo a Equação 8. Nas colunas LISA Map e Moran Map, estão indicados em qual quadrante cada ponto, de coordenada (*Z*, *WZ*), se encontra no diagrama de espalhamento de Moran de acordo com a significância estatística.

### **4.3.1 Média Móvel Espacial**

As Figuras 12 e 13 mostram os resultados da aplicação da Média Móvel Espacial para os anos 2011 e 2012. Com a finalidade de melhorar a forma de apresentação dos índices gerados pelo SIG TerraView 4.3.2, foi utilizado o software ArcGIS para criar os mapas. Essa escolha se deve ao fato de este software disponibilizar mais opções e ferramentas na elaboração de *layouts* de mapas.

A média móvel espacial criou uma superfície suavizada no mapa de Goiânia com níveis de intensidade, alterando o valor dos índices (número de acidentes) de cada bairro de acordo com a normalização da matriz de proximidade espacial. Este procedimento evidencia os agrupamentos (*clusters*) em toda a região de análise. É possível observar, pelos círculos indicados nas Figuras 13 e 14, que a região central da

cidade concentra o maior número de bairros com elevados índices de acidentes com vítimas fatais. É importante observar que o resultado encontrado, pela média móvel espacial, indica as mesmas regiões de maior intensidade indicada pelo estimador de intensidade de Rosenblatt-Parzen, que suaviza a superfície por meio do raio de busca.

Através da média móvel espacial, foi possível visualizar uma concentração dos acidentes nas regiões centro e sul do município de Goiânia; é possível, porém, perceber uma dispersão maior no ano 2011 do que em 2012.

#### **4.3.2 Índice Global de Moran**

A partir dos dados da Tabela 2, foi possível obter os índices globais de Moran para os anos 2011 e 2012 por meio do SIG TerraView. Os valores positivos do índice, 0,13 para 2011 e 0,16 para 2012, indicam que os bairros com maior concentração de acidentes de trânsito com vítimas fatais estão circundados por bairros que também possuem um número alto de acidentes com vítimas fatais, indicando a presença de autocorrelação espacial.

Para analisar a importância estatística do Índice Global de Moran, foi realizado o teste de pseudossignificância com 999 permutações (limite máximo definido pelo SIG). Com os valores do índice de Moran, definidos pelas permutações, é feito um histograma que representa a distribuição simulada. Quando o valor do índice global de Moran corresponder a um dos extremos (valores próximos de zero) da distribuição simulada pelas permutações, então, a autocorrelação espacial possui significância estatística, ou seja, não estão aleatoriamente distribuídos.

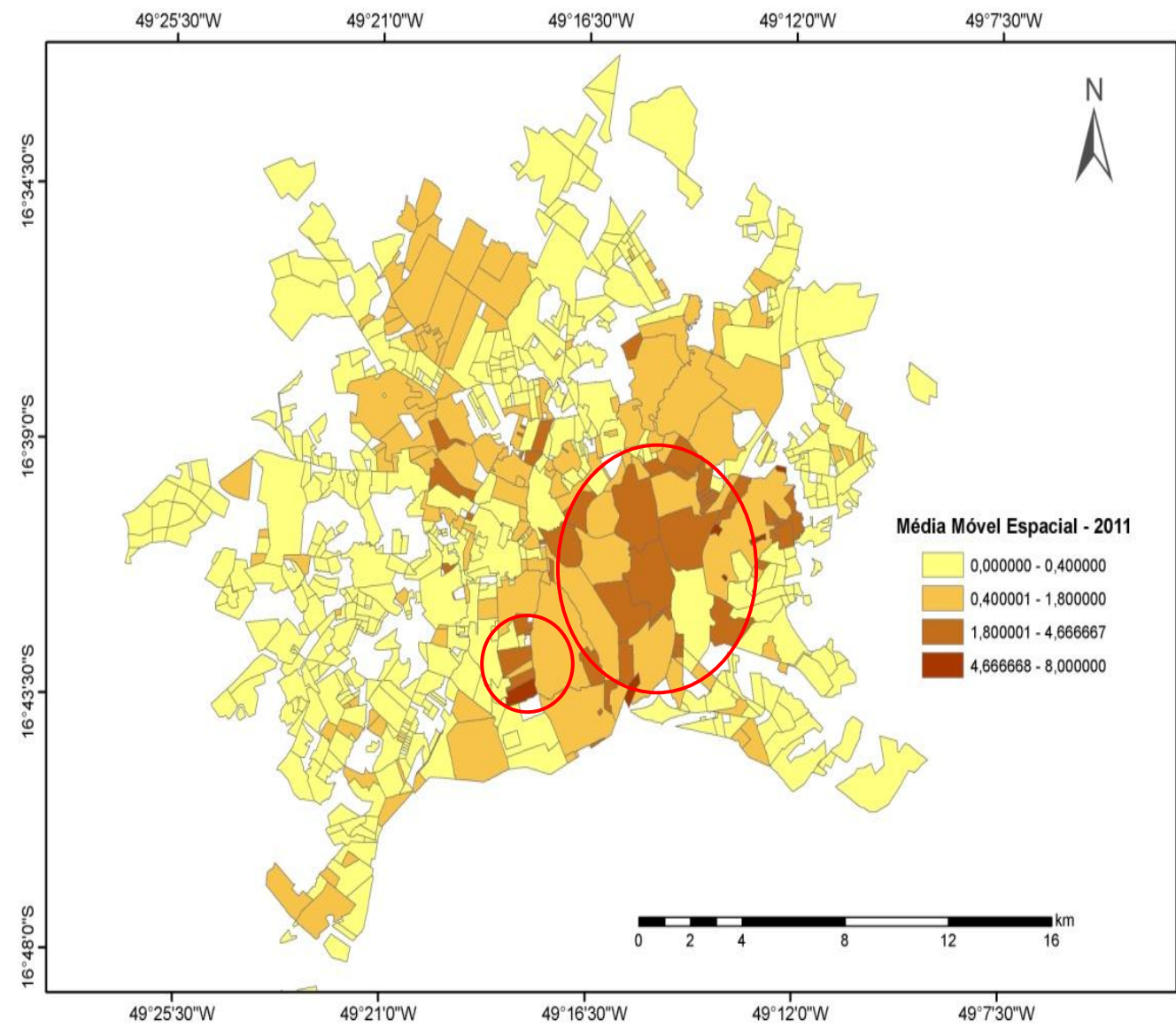


Figura 22: Média Móvel Espacial dos Acidentes fatais de Trânsito – 2011.

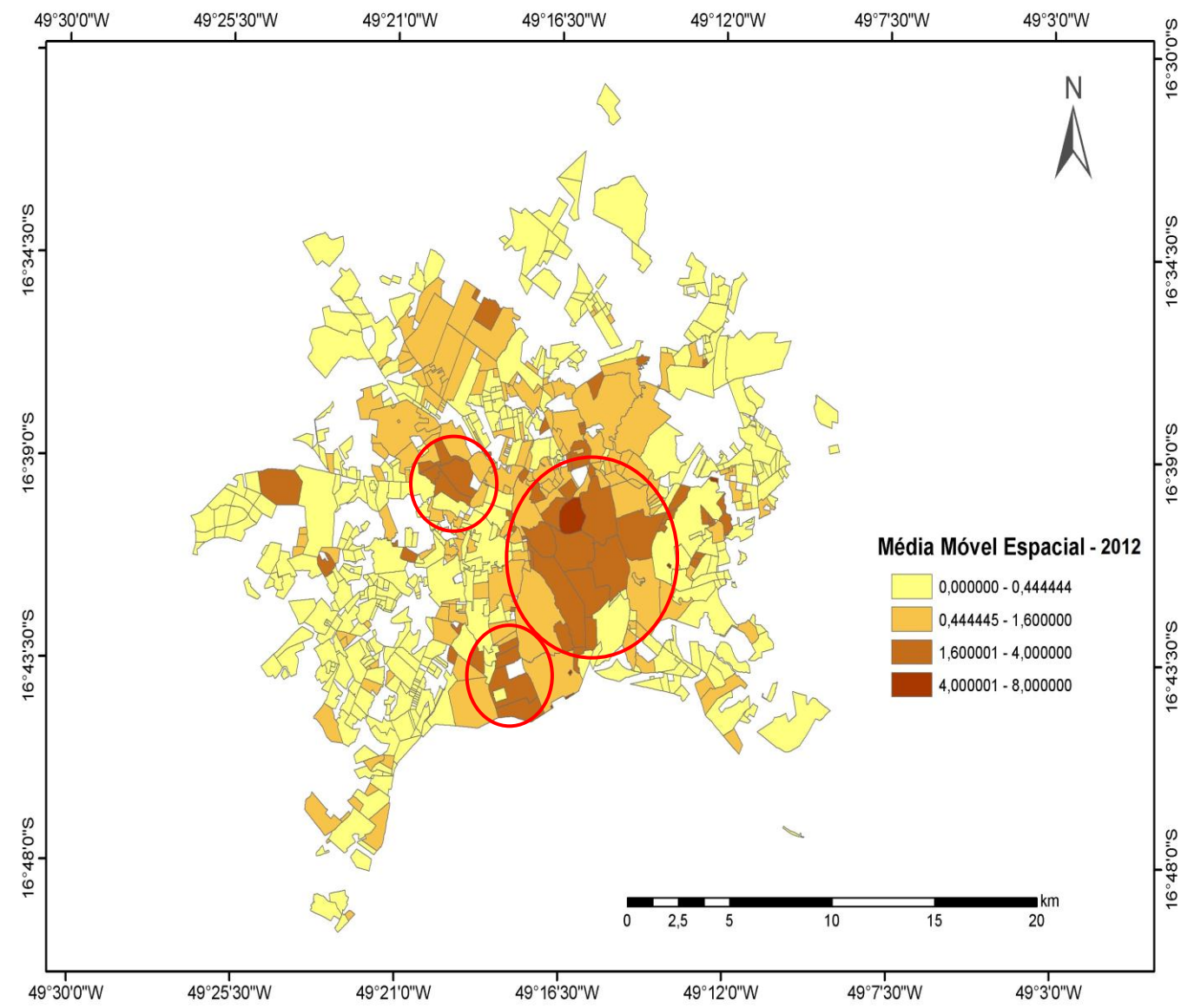
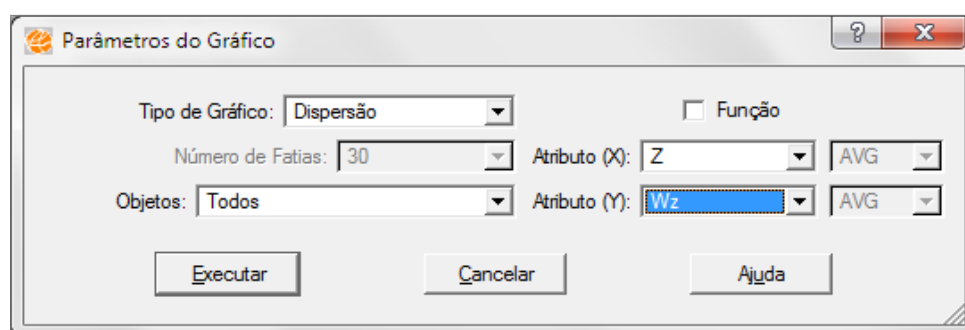


Figura 13: Média Móvel Espacial dos Acidentes fatais de Trânsito – 2012.

Os níveis de significância ( $p$ -valor) referentes aos anos 2011 (0,007) e 2012 (0,002) são inferiores ao nível estipulado neste trabalho (5%), mostrando que os índices Global de Moran representam uma correlação espacial significativa, indicando a existência de autocorrelação.

Outra forma utilizada para se visualizar a dependência espacial dos acidentes de trânsito com vítimas fatais é por meio do diagrama de espalhamento de Moran, que foi gerado pelo SIG TerraView. A Figura 14 mostra o procedimento adotado: Parâmetros do gráfico, no campo Tipo de Gráfico selecionar Dispersão, em Objetos selecione Todos e como atributos selecione para o eixo das abscissas (X) os valores normalizados representados (Z), para o eixo das ordenadas (Y) selecione (Wz) que representa a média dos desvios dos atributos dos vizinhos da unidade selecionada.



**Figura 14: Procedimento para gerar o Diagrama de Espalhamento de Moran.**

As Figuras 15 e 16 mostram os resultados da aplicação do diagrama de espalhamento de Moran para os anos 2011 e 2012. É possível observar, nas Figuras, que os pontos se distribuem em quatro quadrantes: o quadrante Q1 indica a existência de uma associação espacial positiva, isto é, os bairros com um índice de acidentes de trânsito alto estão cercados por bairros que têm comportamento similar; o quadrante Q2 indica uma associação espacial positiva onde os bairros com um índice de acidentes baixo estão cercados por bairros que também têm um índice baixo de acidentes; e os

quadrantes Q3 e Q4 indicam uma associação espacial negativa, mostrando que os bairros têm vizinhos com valores distintos para os índices de acidentes.

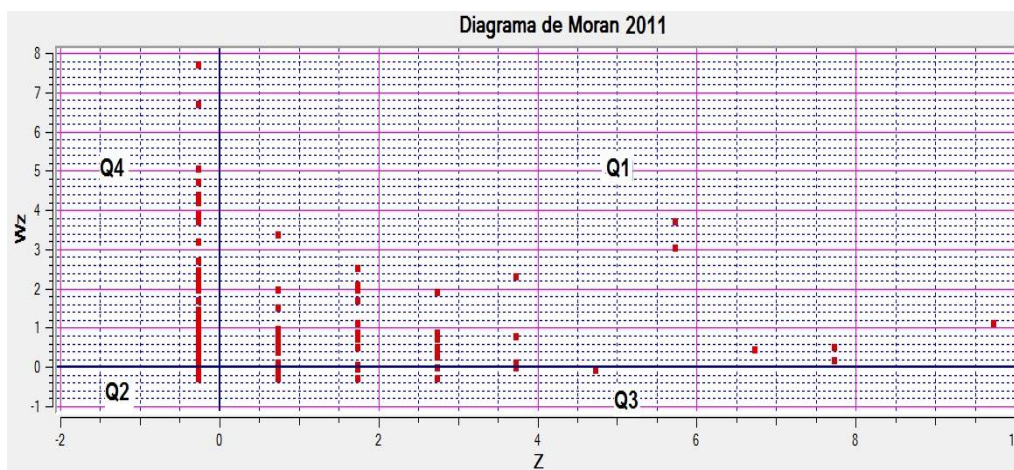


Figura 35: Diagrama de Espalhamento de Moran nos Anos de 2011.

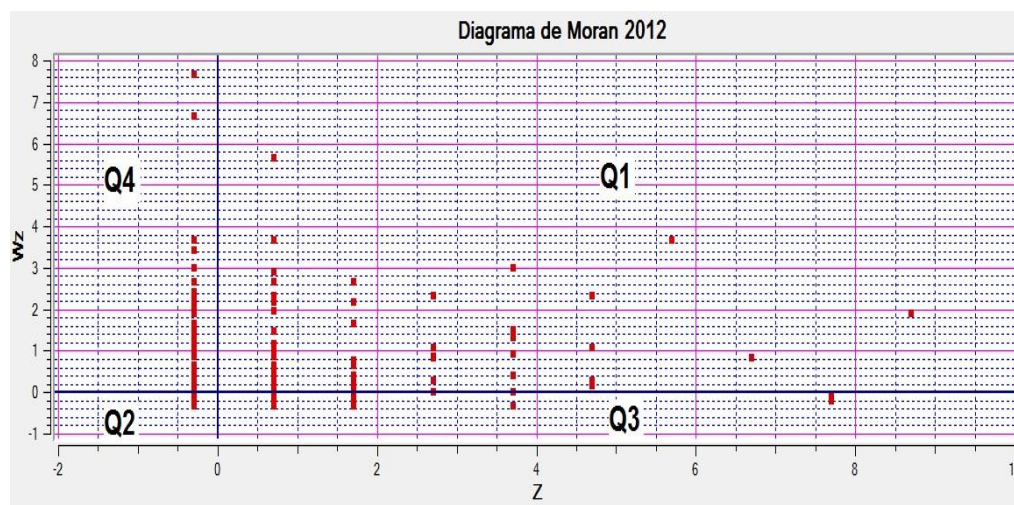


Figura 46: Diagrama de Espalhamento de Moran nos Anos de 2012.

As Figuras 17 e 18 mostram os resultados da aplicação do Box Map com os dados fornecidos pela Tabela 2, cujos mapas foram gerados a partir do SIG ArcGIS. Na geração dos mapas cada bairro do município de Goiânia foi classificado conforme sua posição em relação aos quadrantes do gráfico de espalhamento de Moran, recebendo uma cor correspondente no mapa. Na Figura, é possível observar que a cor vermelha representa os bairros que têm valores altos para o número de acidentes cercados por



vizinhos que também têm valores altos. A cor azul representa os bairros que têm valores baixos para o número de acidentes cercados por vizinhos que também têm valores baixos. Observa-se, também, que a cor bege representa os bairros que têm valores altos para o número de acidentes, enquanto que os seus vizinhos têm valores baixos. A cor cinza representa os bairros que têm valores baixos para os números de acidentes, enquanto que os seus vizinhos têm valores altos.

As Figuras 19 e 20 foram geradas pelo SIG ArcGIS, a partir dos dados fornecidos na Tabela 2 e mostram a aplicação do LISA MAP para os acidentes nos anos 2011 e 2012. Nas Figuras, as regiões em vermelho representam os bairros que tiveram o índice local de Moran significativos (abaixo de 0,05), ou seja, representam uma autocorrelação espacial local significativa, não estão aleatoriamente distribuídos sem, contudo, diferenciá-los em agrupamentos de altos ou baixos valores para o número de acidentes de trânsito. Por meio das Figuras, é possível observar que no ano 2011, as regiões que apresentam correlação espacial local significativa estão espalhadas por toda a cidade e que, no ano 2012, as regiões que apresentam correlação local significativa, têm predominância no centro e no setor sul da cidade e alguns bairros das regiões oeste e noroeste da cidade.

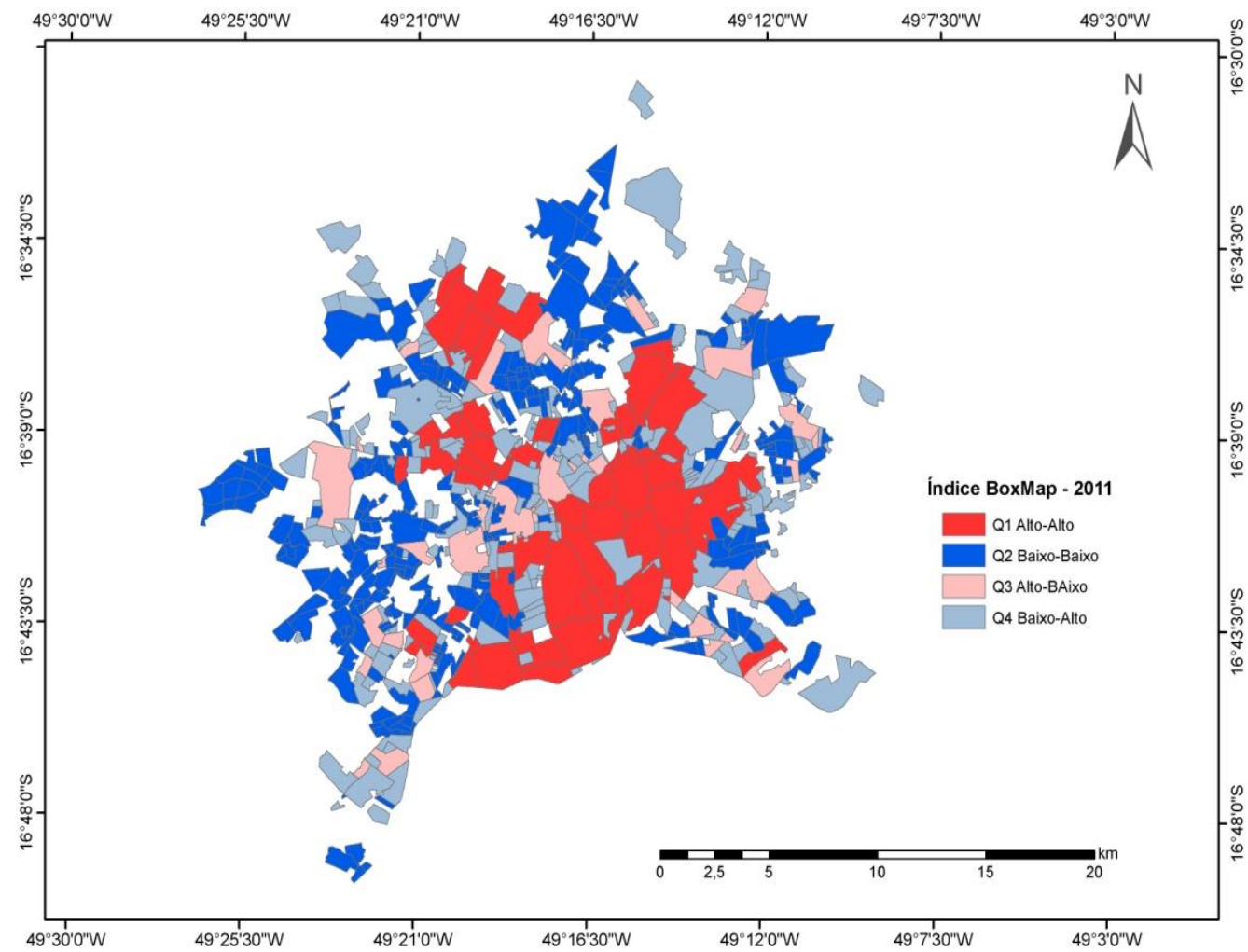


Figura 57: Box map dos acidentes de trânsito no ano de 2011.

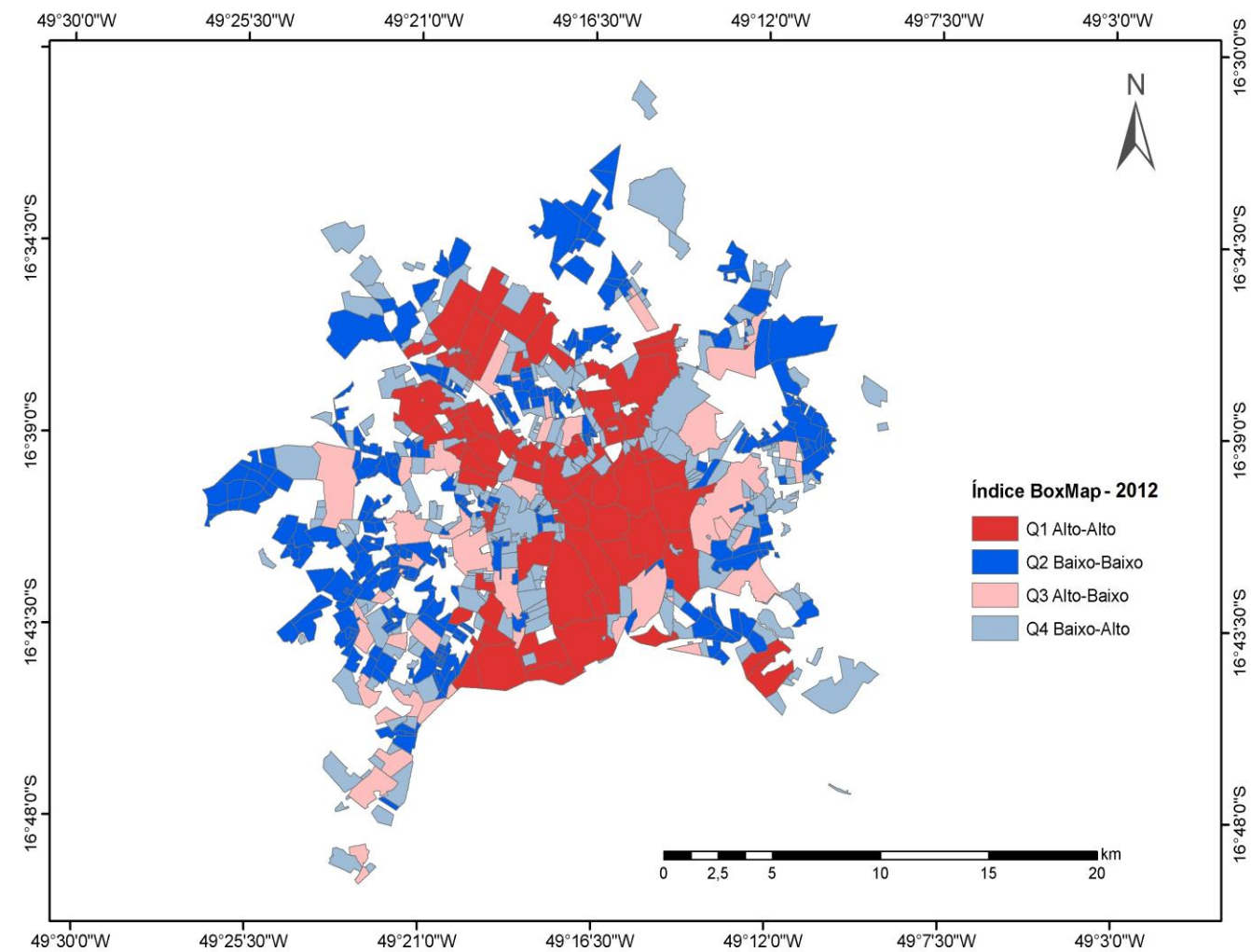


Figura 68: Box map dos acidentes de trânsito no ano de 2012.

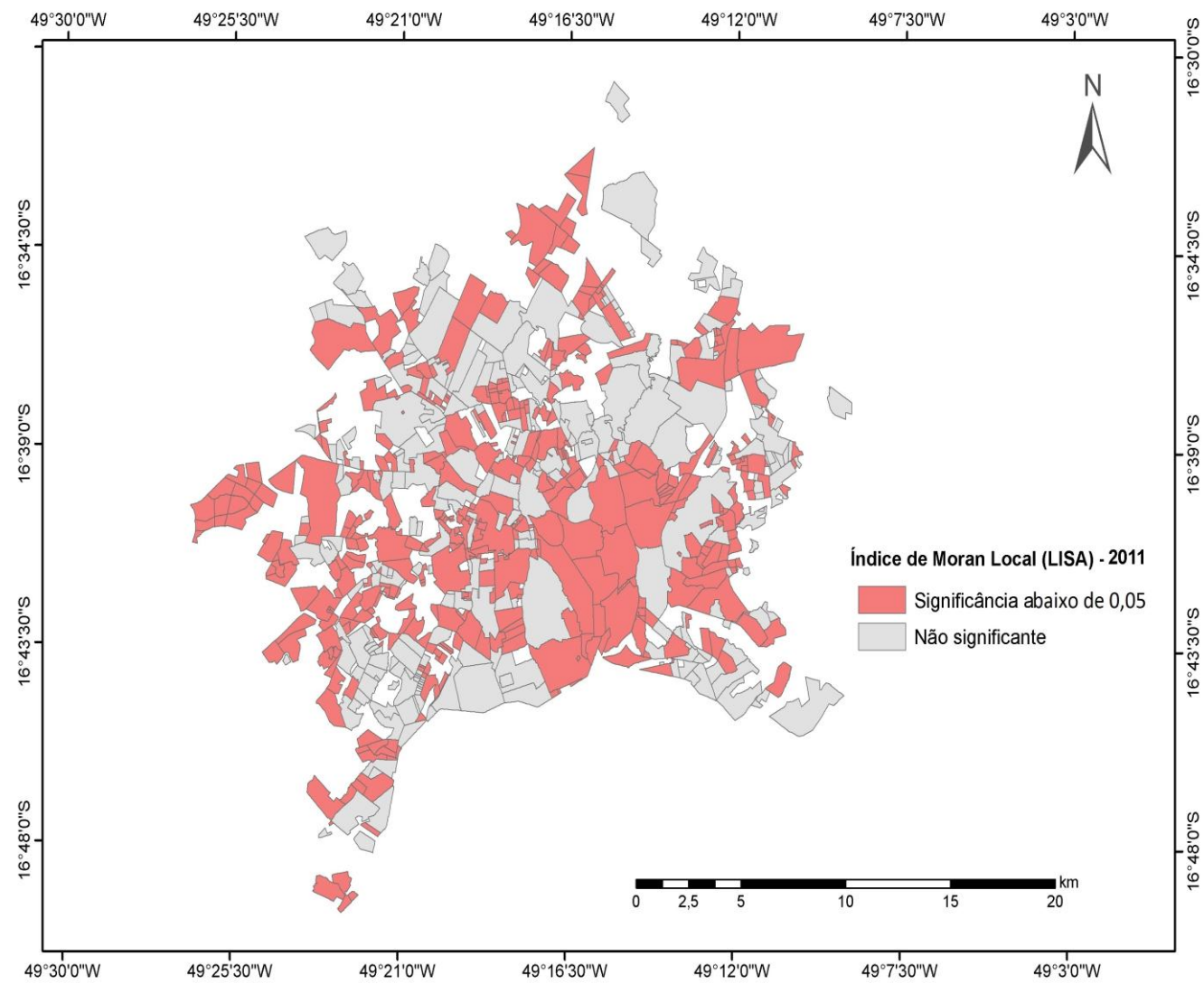


Figura 197: LISA MAP dos acidentes de trânsito com vítimas fatais – 2011.

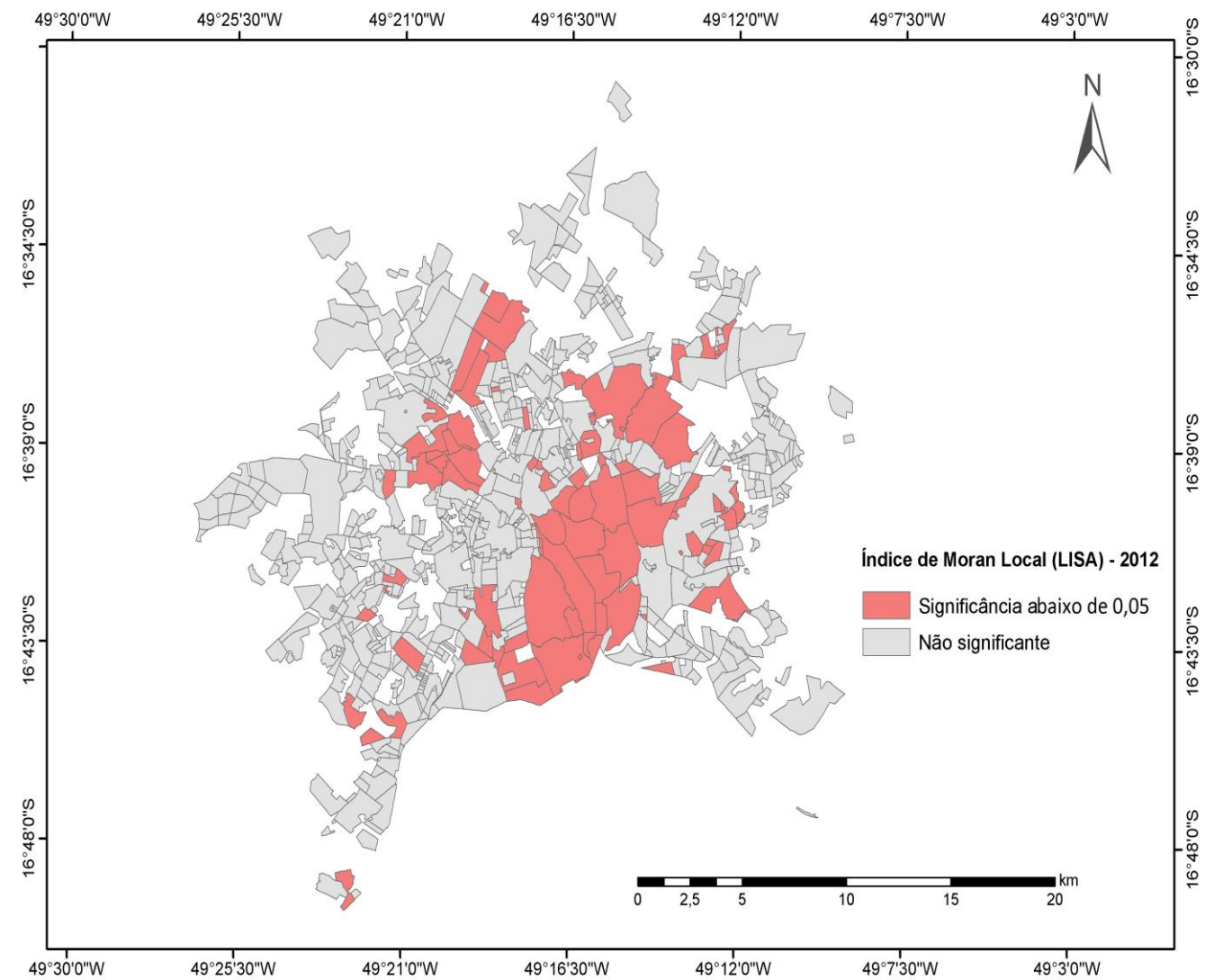
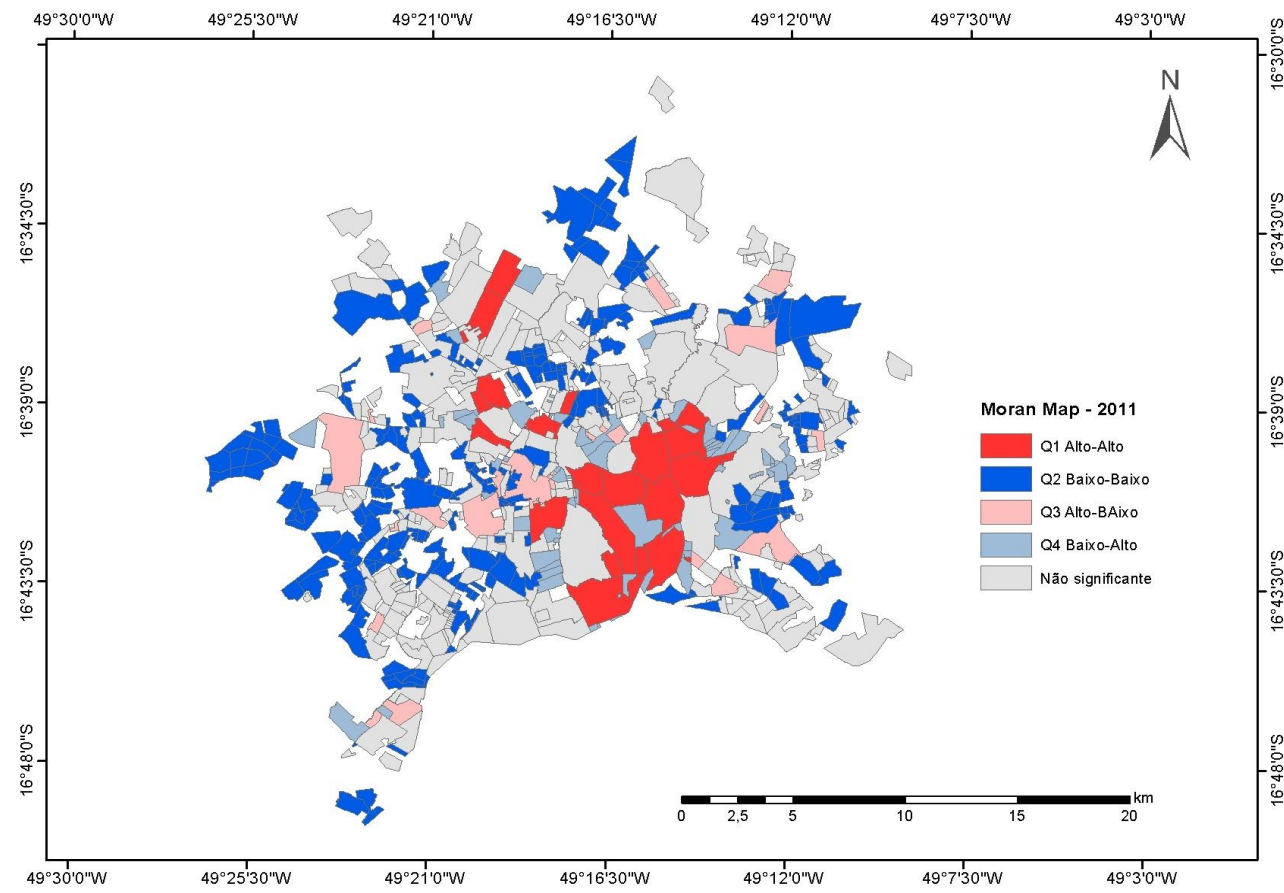
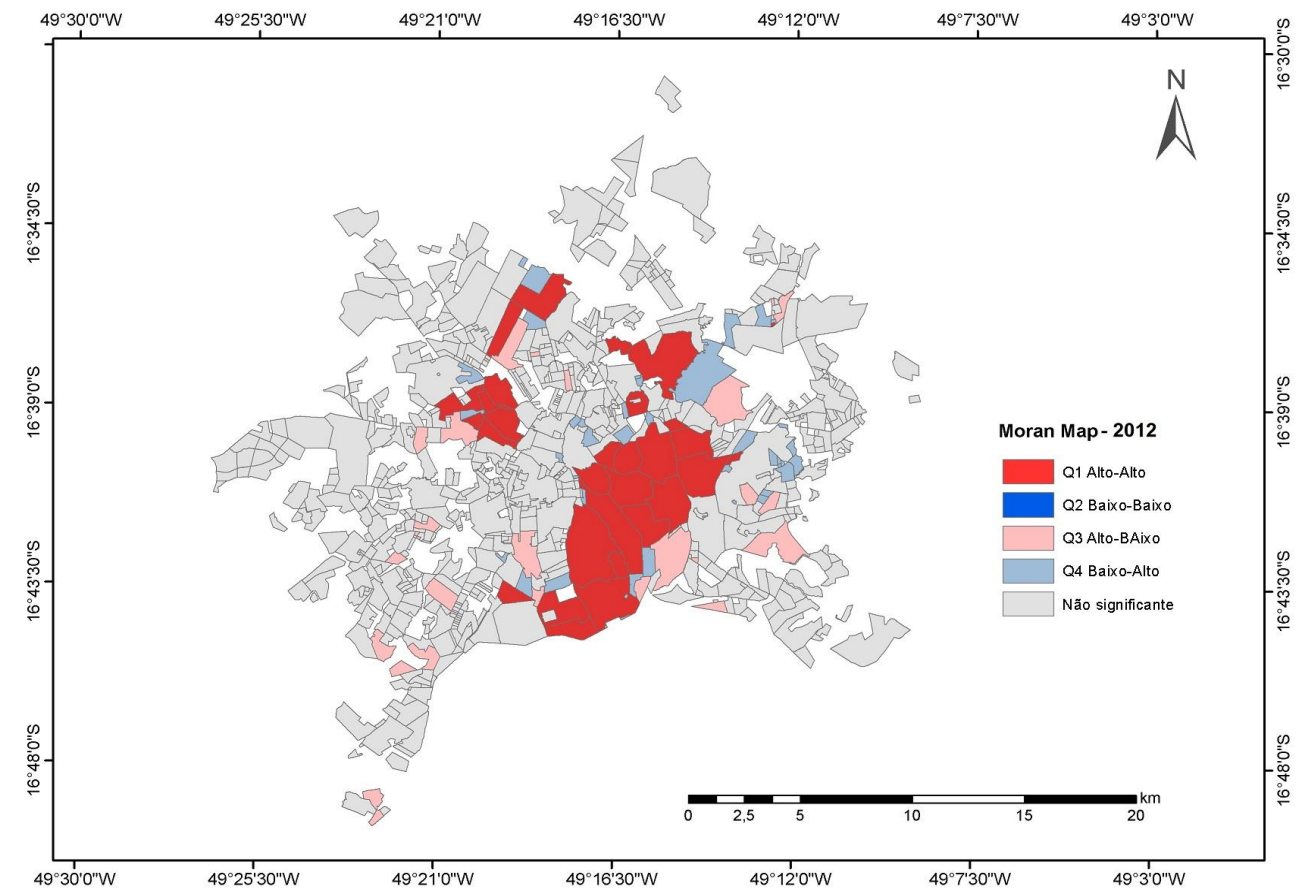


Figura 80: LISA MAP dos acidentes de trânsito com vítimas fatais – 2012.

As figuras 21 e 22 mostram a aplicação do Moran map dos acidentes de trânsito com vítimas fatais ocorridos em Goiânia nos anos 2011 e 2012, foram gerados por meio do SIG ArcGIS a partir dos dados da Tabela 2. De forma semelhante ao LISA MAP, somente os bairros que foram classificados significantes são destacados, no entanto, aparecem classificados em quatro grupos de acordo o diagrama de espalhamento de Moran definido anteriormente. Na Figura 22, é possível observar que existe um grande *cluster* do tipo alto-alto no centro da cidade evidenciando a existência de bairros com alto índice de acidentes circundados por outros bairros também com um alto índice de acidentes e com vários *clusters* do tipo baixo-baixo espalhados por toda a região. Na Figura 22, não houve pontos no quadrante Q2 indicando que os bairros que possuem um número baixo de acidentes e que estão circundados por bairros com a mesma similaridade não tiveram significância estatística e, por isso, não aparecem no mapa. É possível verificar também a presença de um de um grande *cluster* do tipo alto-alto no centro da cidade.



**Figura 91: Moran Map dos acidentes de trânsito no ano de 2011.**



**Figura 102: Moran Map dos acidentes de trânsito no ano de 2012.**

## **CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES**

O principal objetivo desta pesquisa é analisar a ocorrência de acidentes de trânsito com vítimas fatais no espaço geográfico do município da cidade de Goiânia com o emprego de um sistema de informação geográfica associado a ferramentas da estatística espacial, com a finalidade de verificar a existência de autocorrelação espacial e seus efeitos local, global e a intensidade pontual dos eventos.

Inicialmente, foi necessário realizar o georreferenciamento dos acidentes. Esta etapa da pesquisa apresentou uma grande dificuldade, devido à deficiência das informações obtidas por meio dos boletins de acidente de trânsito e a obtenção das coordenadas relacionadas ao local dos acidentes. Durante a elaboração do banco de dados, foi possível constatar a importância de se ter um processo mais eficiente no registro dos BOAT, com informações mais precisas e confiáveis.

Para realizar a análise espacial dos dados, primeiramente foi aplicada a técnica do estimador de intensidade de Rosenblatt-Parzen e da Média Móvel Espacial com a finalidade de detectar as regiões com maior concentração de acidentes de trânsito com vítimas fatais, analisando a distribuição dos dados com seus efeitos locais e globais.

Através das observações nos mapas gerados pelo estimador de intensidade e da média móvel, foi possível verificar a existência de regiões com maior incidência de acidentes no centro da cidade, o que, em parte, pode ser explicado por ser uma área densamente povoada e com um grande fluxo de veículos.

Foi importante utilizar técnicas diferentes, como o estimador de intensidade que identifica, as regiões por raio de busca; e a média móvel espacial que identifica as

regiões pela média dos valores dos vizinhos mais próximos para confrontar os resultados das análises.

Para analisar a existência de autocorrelação espacial dos dados, foram calculados os índices globais de Moran, com valores de 0,13 e 0,16 para os anos 2011 e 2012 respectivamente, indicando uma autocorrelação global positiva. Com estes dados, é possível concluir que os bairros com maior índice de acidentes com vítimas fatais estão circundados por outros bairros que também possuem um alto índice de acidentes.

Os mapas temáticos relacionados aos índices de autocorrelação global e local se mostraram eficientes indicadores do comportamento da distribuição espacial dos acidentes de trânsito. Por meio destes mapas foi possível verificar que os acidentes com vítimas fatais estão dispersos por todas as regiões do município de Goiânia, com um número mais expressivo nas regiões centro e sul.

A análise dos acidentes de trânsito com vítimas fatais por meio de ferramentas de estatística espacial possibilitou a identificação de agrupamentos (*clusters*) e regiões com os maiores índices de acidentes em Goiânia, foi possível constatar também a autocorrelação positiva dos dados.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se uma análise espacial dos acidentes por um período maior de tempo e uma análise por tipo e severidade dos acidentes com variáveis sócio econômicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANSELIN, L. (1996) The Moran scatterplot as an ESDA tool to assess local instability in spatial association. In: Fisher M, Scholten HJ, Unwin D (eds) *Spatial analytical perspectives on GIS*. Taylor & Francis, London
- [2] ANSELIN, L. (1992) *SpaceStat TUTORIAL: A Workbook for Using SpaceStat in the Analysis of Spatial Data*.
- [3] ANTENUCCI, J. C., K. BROWN, P.L. Croswell and M.J. Kevany, Geographic Information Systems (New York, NY: Van Nostrand Reinhold, 1991).
- [4] BAILEY, T.; GATRELL, A. Interactive Spatial Data Analysis. Longman Scientific and Technical, London, 1995.
- [5] BERNARDINO, A. R., (2007) Espacialização dos Acidentes de Trânsito em Uberlândia (MG): Técnicas de Geoprocessamento como Instrumento de Análise – 2000 a 2004. Universidade de São Paulo – USP. Programa de Pós-Graduação em Geografia Humana. Tese de Doutorado.
- [6] CÂMARA, G.; A. M. V. MONTEIRO; S. DRUCK e M. S. CARVALHO (2002b) 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: 05 de julho de 2013.
- [7] CÂMARA, G., CASANOVA, M. A., HEMERLY, A. S., MAGALHÃES, G. C., MEDEIROS, C. M. B. Anatomia de Sistema de Informações Geográficas. Campinas. Unicamp. 1996.
- [8] CHUN, Y., GRIFFITH, D. A. (2013) Spatial Statistics and Geostatistics: Theory and Applications for Geographic Information Science and Technology. SAGE.
- [9] CLIFF, A.D. and J.K. ORD, 1981. Spatial Processes: Models and Applications. Pion, London.
- [10] CRESSIE, N. A. C. (1993) Statistics for Spatial Data. New York: Wiley.
- [11] DIGGLE, P. J., (1983). Statistical Analysis of Spatial Point Patterns. London: Academic Press.
- [12] Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI). ArcGIS. Professional GIS for the desktop, versão 9.3.1 CA. 2009.



- [13] FERREIRA, A. C. M., (2008) Análise Espacial das Taxas de Mortalidade por Atropelamento dos Municípios Paulistas Utilizando Ferramentas de Estatística Espacial. Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Dissertação de Mestrado.
- [14] FITZ, P. R. (2008) Geoprocessamento sem complicação. São Paulo: Oficina de Textos.
- [15] FOTHERINGHAM, S., ROGERSON, P. (1994) Spatial analysis and GIS, Taylor & Francis Ltd.
- [16] Geographic Information Systems: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications, Information Resources Management Association (Author), USA Information Resources Management Association (Editor), IGI Global, 2013.
- [17] GETIS, A., FISHER, M., Handbook of Applied Spatial Analysis: Software Tools, Methods and Applications. Berlin, Springer, 2010.
- [18] GOODCHILD, M., EGENHOFER, M. J., FEGEAS. R., KOTTMAN, C., (1999). Interoperating Geographic Information Systems. Kluwer Academic Publisher.
- [19] GRIFFITH, D. A. Spatial Autocorrelation. University of Texas at Dallas, Richardson, TX, USA. 2009
- [20] KREMPI, A. P. (2004) Explorando Recursos de Estatística Espacial para Análise da Acessibilidade da Cidade de Bauru. Escola de Engenharia de São Carlos. USP – Programa de Pós Graduação em Transportes. 98 fl. Dissertação de Mestrado.
- [21] LEVINE, N., 2002. CrimeStat: A spatial statistics program for the analysis of crime incident locations. Ned Levine & Associates, Houston, TX, and the National Institute of Justice. Washington, DC.
- [22] LODWICK, W. A. Fuzzy surfaces in GIS and geographical analysis: theory, analytical methods, algorithms, and applications / Weldon Lodwick. New York 2008.
- [23] LONGLEY, P. A., GOODCHILD, M. F., MAGUIRE, D. J. (1999). Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Applications and Management. New York: John Willey & Sons.
- [24] LOPES, S. B. (2005) Efeitos da Dependência Espacial em Modelos de Previsão de Demanda por Transporte. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos.
- [25] MAGUIRE, D. J., GOODCHILD, M. F., BATTY, M. (2005). Spatial Analysis, and Modeling. ESRI Press.

- [26] MANN, P. S. Introdução a Estatística. 5<sup>a</sup>. Ed. – Rio de Janeiro. Editora LTC, 2006.
- [27] MARBLE, D. (1984) Geographical information system: an overview. In: Pecora 9 Conference Sioux Falls, S. D. Proceeding Sioux Falls, S. D. V.1.
- [28] QUEIROZ, M. P. (2003) Análise Espacial dos Acidentes de Trânsito do Município de Fortaleza. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transporte, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 124 fl.
- [29] SANTOS, L. (2006) Análise dos Acidentes de Trânsito do Município de São Carlos Utilizando Sistema de Informações Geográficas e Ferramentas de Análise Espacial. Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. 139 fls. Dissertação de Mestrado.
- [30] SILVA, J. X. & ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento para análise ambiental: aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.
- [31] SILVERMAN, B.W. 1986. Density estimation for statistics and data analysis. Chapman and Hall, London.
- [32] SOARES, A. J. (2007) Análise de Autocorrelação em Redes Aplicada ao Caso de Acidentes Urbanos de Trânsito. Escola de Engenharia de São Carlos - USP. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transporte e Área de Concentração em Planejamento e Operações de Sistemas de Transportes. Dissertação de Mestrado.
- [33] SULLIVAN, D. O.; UNWIN, D. J. (2003) Geographic Information Analysis. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons.
- [34] TEIXEIRA, G. L. (2003) Utilização de Dados Censitários para Identificação de Zonas Homogêneas para Planejamento de Transporte Utilizando Estatística Espacial. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília. Brasília, DF.
- [35] VEIGA, J. E. Desenvolvimento Sustentável: o desafio do século XXI. Rio de Janeiro: Garamond, 2005. 226 p.
- [36] WALLER, L. A., GOTWAY, C. A. Applied spatial statistics for public health data. Hoboken: J. Wiley, 2004. 518 p.
- [37] WHO. Global status report on road safety (2013): supporting a decade of action. Switzerland. World Health Organization.