



Samir Borges Bressane

**Ferramentas espaciais em SIG para a análise
de acidentes de trânsito: estudo de caso com
veículos pesados nas rodovias federais do
Estado do Rio de Janeiro**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-
Rio.

Orientador: Prof. Rafael da Silva Nunes

Coorientador: Prof. Nélio Domingues Pizzolato

Rio de Janeiro

Dezembro de 2020



Samir Borges Bressane

**Ferramentas espaciais em SIG para a análise
de acidentes de trânsito: estudo de caso com
veículos pesados nas rodovias federais do
estado do Rio de Janeiro**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-
Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo.

Prof. Rafael da Silva Nunes

Orientador

Departamento de Geografia e Meio Ambiente – PUC-Rio

Prof. Nelio Domingues Pizzolato

Coorientador

Universidade Católica de Petrópolis

Prof. Celso Romanel

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – PUC-Rio

Prof. Rubem Penteado de Melo

Transtech Engenharia e Inspeção LTDA

Rio de Janeiro, 17 de Dezembro de 2020

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

Samir Borges Bressane

Bacharel em Engenharia de Pesca pela Universidade Federal do Amazonas – UFAM, 2010. Pós-graduado em Engenharia de Campo – SMS pelo programa de mobilização da indústria nacional de petróleo e gás natural – PROMINP e Universidade Federal do Maranhão - UFMA, 2012. Pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade de São Paulo – USP, 2013. Atua na área de gestão de riscos e novas tecnologias aplicadas à Segurança, Meio ambiente e Saúde.

Ficha Catalográfica

Bressane, Samir Borges

Ferramentas espaciais em SIG para a análise de acidentes de trânsito: estudo de caso com veículos pesados nas rodovias federais do estado do Rio de Janeiro / Samir Borges Bressane; orientador: Rafael da Silva Nunes; coorientador: Nélío Domingues Pizzolato. – 2020.

148 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, 2020.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Engenharia urbana e ambiental – Teses. 3. Acidente de Trânsito. 4. Sistema de Informação Geográfica. 5. Rodovia Federal. 6. Veículo Pesado. I. Nunes, Rafael da Silva; Pizzolato, Nélío Domingues. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. III. Título.

CDD: 624

Para os meus pais, que tanto se sacrificaram e se comprometeram com o meu desenvolvimento profissional.

Agradecimentos

Ao meu orientador Professor Rafael da Silva Nunes por, além de ter aceitado me orientar, ter me apresentado de forma única o mundo dos Sistemas de Informação Geográfica. Influência que já é responsável por guiar parte do meu futuro profissional.

Ao meu coorientador Professor Nélío Pizzolato, por ter aceitado me coorientar, pela prontidão e todo o suporte para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas de mestrado por toda a parceria e momentos de descontração no decurso desse projeto. A união e amizades consolidadas foram essenciais para a realização dos trabalhos e conclusão dessa etapa. Em especial aos colegas Luciana, Talita, Luciano, Meyse, Carol e Arthur.

Ao secretário do curso Bruno Reis, Professor Celso Romanel, Professor Klaus Fricke e a Professora Christiane Dias pelo apoio, orientações, respeito e ensinamentos que colaboraram para este trabalho.

A minha família, amigos e minha namorada, Giovanna, pelo amor, compreensão e motivação, que me encorajaram e incentivaram em todas as atividades necessárias no desenvolvimento dessa dissertação.

A todas as instituições e profissionais que colaboraram com dados e informações utilizados neste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Resumo

Bressane, Samir Borges; Nunes, Rafael da Silva. **Ferramentas espaciais em SIG para a análise de acidentes de trânsito: estudo de caso com veículos pesados nas rodovias federais do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2020. 148p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Aliada à incorporação do automóvel no cotidiano da sociedade, emerge um relevante problema social: os acidentes de trânsito. O impacto destes acontecimentos é tal que esses eles custam à maioria dos países cerca de 3% do seu Produto Interno Bruto (PIB). No Brasil, um país majoritariamente rodoviário, a malha concentra cerca de 60% do volume de cargas transportadas e 90% do total de passageiros. Quando se fala de veículos pesados, a situação é ainda mais grave, expostos a jornadas de trabalho, exaustivas, caminhoneiros trabalham em um ambiente em que o risco, a falta de segurança, a infraestrutura viária e o tempo de isolamento podem gerar acidentes de maior gravidade nas rodovias federais. No Estado do Rio de Janeiro, a frota de veículos está em crescente expansão e necessita de formas de controle para os riscos dos acidentes. Com a evolução das geotecnologias, estudos georreferenciados, quando inseridos em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), têm permitido uso de técnicas estatísticas espaciais e de otimização para tomada de decisões. Este trabalho teve como objetivo estudar ferramentas em SIG nas análises de acidentes de trânsito envolvendo veículos pesados nas rodovias federais no Estado do Rio de Janeiro. O trabalho demonstrou as capacidades de SIG, à luz da literatura atual e metodologias oficiais, na identificação dos pontos críticos de acidentes no Estado do Rio de Janeiro e, por utilizar banco de dados, as metodologias podem ser replicadas, aperfeiçoadas ou expandidas em outras regiões.

Palavras-chave

Acidente de trânsito; sistema de informação geográfica; rodovia federal; veículo pesado.

Extended Abstract

Bressane, Samir Borges; Nunes, Rafael da Silva (Advisor); Pizzolato, Nélío Domingues (Co-advisor). **Spatial tools in GIS for analysis of traffic accidents: case study with heavy vehicles on federal highways in the state of Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 2020. 148p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

1. Introduction

Allied to the incorporation of the automobile in the daily life of society, a relevant social problem emerges: traffic accidents. While in developed countries great effort is done to control them, in developing countries, with an unstable growth, they appear as a growing problem (MARIN & QUEIROZ, 2000). The impact of these events is such that these accidents cost most countries around 3% of their Gross Domestic Product (GDP) (GONIEWICZ *et al.*, 2015; WHO, 2018). Traffic injury is now the leading cause of death for children and young adults aged 5 to 29 years. And it presents itself as the eighth leading cause of death in all age groups, more than AIDS, tuberculosis and diarrhea (ITF, 2017; WHO, 2018).

In Brazil, a mainly road country, the network concentrates about 60% of the volume of cargo transported (and 90% of the total passengers). Reports, referring to 2016 data, show that Brazil appears in third place among the record-breaking countries in traffic deaths, behind only India and China (WHO, 2018). When it comes to heavy vehicles, the situation is even worst. According to a report by the Ministry of Transport, Ports and Aviation, trucks represent about 6% of the vehicle fleet in Brazil, however they are involved in 16.7% of all accidents, and with greater severity, in federal roads (BRASIL, 2017). Exposed to working hours, often exhausting, truck drivers work in risky situations, in which the lack of security and time away from their family members are the main negative points of the profession (CNT, 2019b).

Rio de Janeiro State has an expanding fleet, estimated at about 6,725,822 vehicles (IBGE, 2020). Information from the Transit Dossier, a survey carried out by the Public Security Institute (ISP) and DETRAN-RJ, show that in 2018, 1,957 people died and 27,520 were injured in traffic accidents in Rio de Janeiro State, an

average of six victims fatal every day (BOECHAT, 2019). Traffic accident locations are crucially important information for understanding the causes and implementation of traffic safety measures. With the evolution of geotechnologies, this field starts to gain a lot of strength. georeferenced studies allow the use of statistical techniques for analysis and optimization for decision making when inserted in a Geographic Information System (GIS) (SILVA *et al.*, 2009; HASHIMOTO, 2016).

This work aims to study GIS tools in the analysis of traffic accidents, using a case study of heavy vehicles on federal roads in Rio de Janeiro State. The methodology adopted for the elaboration of this research was of exploratory research, with a bibliographic review of the concepts and historical roads in Brazil, as well as the methodologies in existing Geographic Information Systems. With a subsequent application case study and methodological comparison.

2. Road Safety

The progress of means of transport, driven by the invention of the wheel, allowed man to move and populate different regions, establishing the dominance of some nations over others and, thus, giving way to the progress of civilization (SANTOS, 2002). At the beginning of the 20th century, Brazil was an immense disperse archipelago of economic islands (NATAL, 1991). Then came the “nationalist ideology of the march to the West”, where Brasília represented an option for the organization of the national space founded on the rupture of the isolation of these areas. Which indicated a future convergence for development in road transport (GALVÃO, 1996).

Road freight transport is, in Brazil, the most important means of distribution of goods. The transport sector plays a fundamental role in the pursuit of development (SANTOS, 2007). The truck driver job has always been important to the economy of Brazil. These drivers transport more than 60% of all cargo that circulates in the country. In the specific case of petroleum-derived fuels, 90% of the total production depends on road transport to be distributed. Brazil's dependence was clearly demonstrated when truck drivers went on strike in 2018 for 11 consecutive days. The consequences generated were of great proportions,

influencing the entire economy of the country. According to the newspaper Estado de São Paulo, some surveys calculate that the financial losses for the country exceeded R\$ 75 billion (GUEDES, 2018; SILVA, 2018).

Truck drivers, exposed to often exhausting working hours, work in an environment where risk, lack of security and isolation time are negative points of the profession. The cargo driver profession in Brazil adds intrinsic characteristics to the function that contribute to considerable aggregate risks. They permeate the physical, social, person, emotional and environmental environment. It can be mentioned: Distance traveled, Tight deadlines, Lack of rest, Overload, Vehicle maintenance, Recklessness, Sudden illness and Poor road infrastructure (CNT, 2019a).

The Brazilian Association of Logistics and Cargo Transportation, adds that road cargo transportation, when compared to other economic activities, corresponds to 15% of deaths and 7% of cases of permanent disability on the roads (ABTC, 2009 apud SILVA, 2011). Accidents with cargo vehicles need to be further studied as they are usually ending in serious consequences, causing a high number of victims and major economic damage. The trend, in long distance road transport, is using larger and more robust vehicles. Another aggravating factor is the environmental damage that can occur due to the spillage of cargo, as many vehicles transport goods classified as dangerous or toxic.

3. Studies and Methods of Traffic accident analysis

According to NBR 10697 (ABNT, 1989), a traffic accident is any non-premeditated event that results in damage to the vehicle or its load and/or injuries to people and/or animals, in which at least one of the parties is moving on land roads or areas open to the public. Identifying the causes can assist in creating adequate accident prevention policies that make roads safer. The identification of places with a higher incidence of accidents is a way of improving the safety levels of the road network, establishing priorities (CNT, 2019b).

The methodologies for identifying critical traffic accident locations are of fundamental importance, together with the choice of the most appropriate methods for the effectiveness of the studies (GOLD, 1998; BRASIL, 2002; DNIT, 2009).

The most widespread methods found in the literature are, in general, classified into: Numerical, Statistical, Traffic Conflicts, and Road Safety Auditing (BRASIL, 2002; MARTINEZ & LOPES, 2010).

From the available methods, the Numeric can be considered the easiest to calculate and apply for the identification of hazardous locations. Critical locations are determined by calculating the number of accidents and accident rates. Numerical methods are subdivided into Absolute and Relative.

- a) Absolute: The Number of Accidents Technique considers as critical locations those with more accidents than the arithmetic average of accidents recorded in the respective segments (BRANDÃO, 2007). And the Accident Severity Technique considers the frequency and severity of accidents (they use the concept of Standard Severity Unit - UPS) (DENATRAN, 1987; BRASIL, 2002);
- b) Relative: The Accident Rate Technique, the number of traffic accidents is related to the traffic volume of the respective location (DNER, 1986; PLINE, 1992). And the Severity Rate Technique is considered a combination of the last two techniques mentioned, the variable of number of accidents is expressed in UPS, and related to the volume of traffic on the site (BRASIL, 2002).

Statistical Methods involve the use of probabilistic, spatial mathematical models, spatial techniques and tests of statistical significance to determine places of greatest risk of accidents (KHORASHADI *et al.*, 2005). The Traffic Conflicts method can be defined as an event involving two or more road users, in which the action of one of them causes the other to make an evasive maneuver to avoid a collision (identifying the factors that lead to risky behavior) (PARKER *et al.*, 1989). The Safety Audit can be defined as a formal process of systematic safety checks on road sections. It is based on the preventive action of checking risk factors on existing roads, recently opened or even in the design phase (KANELLIDIS & VARDAKI, 2011).

4. Geographic Information Systems and Spatial Analysis

GIS are designed to aggregate spatial data from different sources into a database, usually using digital data structures and representing spatially variable phenomena as a series of data layers. The computational treatment of geographic data and the respective georeferenced attributes are located on the Earth's surface and represented in a cartographic projection. The different layers allow to deal with information plans from the most diverse sources, allowing the user to carry out analyzes, create and edit maps from data from different sources (Figure 1) (CÂMARA *et al.*, 2004b).

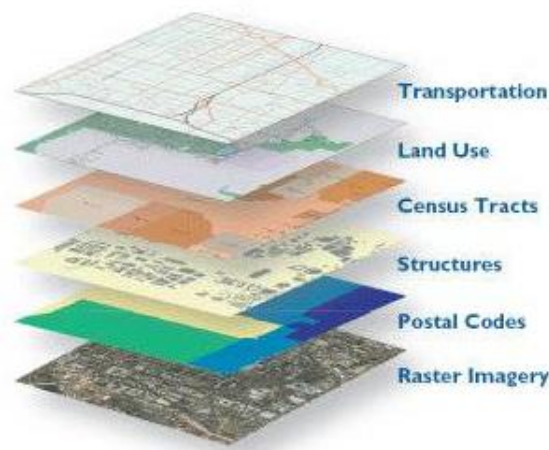


Figure 1 – Integration of data and layers. Source: ESRI, 2004.

Studies and analyzes, with the spatial bias, have become more and more common, due to the availability of low-cost GISs and with friendly interfaces. Many data in common use, such as census data, have a spatial reference that can be analyzed statistically. However, a fundamental characteristic of spatial analysis is the use of geographic reference in the process of collecting, processing, analyzing and describing data (CÂMARA *et al.*, 2004a, p. 1).

Spatial analyzes recognize that all sites have an intrinsic degree of uniqueness due to their position in relation to the rest of the space system. In line with this statement, there is a widespread Tobler's Law (1970), also known as the first law of geography:

"I invoke the first law of geography: everything is related to everything else, but near things are more related than distant things." (MILLER, 2004, p. 284).

Spatial analysis tools can be divided into Selection, Manipulation, Exploratory Analysis and Confirmatory Analysis. Selection is the choice and sampling of observational database units, with sampling results and procedures. Data Manipulation covers the disposition, aggregation, overlap and interpolation procedures necessary to create spatial data. Exploratory Analyzes seek to describe global and local spatial distributions, discover patterns of spatial association (clusters), suggest spatial instabilities and identify atypical situations (outliers). Confirmatory Analysis has as a starting point a theoretical model, such as hypothesis testing, modeling, self-regression, validation, necessary to implement multivariate analyzes with spatial components (ANSELIN, 1992; 1996).

Spatial analysis is used to specify geographically the places where phenomena of interest occurred and to evaluate specific distribution patterns through the visualization of maps. The most used spatial analysis techniques in GIS, in the literature, for analyzing traffic accidents are (SATRIA & CASTRO, 2016):

- KDE (Kernel Density Estimation) produces a scan as a way of analyzing the density of certain points;
- Global Moran's I is a statistical tool that measures the spatial autocorrelation of accident sites (MORAN, 1948);
- Local Moran's I characterize each location with an index value that denotes the individual contribution to the global autocorrelation measure (MOONS *et al.*, 2009). It is considered a Local Indicator of Spatial Association (LISA);
- Getis-Ord Gi* is also one of the LISA indexes that looks for specific areas in an image that have similar or different groupings of values (GETIS & ORD, 1992).

Traffic accident studies with GIS and Spatial Analysis

Although GIS has been used for more than thirty years, however, it has only recently been used in the field of road accidents. In addition to promoting the

connection between various types of data and maps, a GIS is able to manipulate and visually display various types of traffic data to facilitate understanding (JAYAN & GANESHKUMAR, 2010).

AHMADI *et al.* (2017) developed a study to specify the capabilities of a GIS in managing traffic accident information. Among the capabilities, we highlight: Resources to save and recover data; Resources and tools for analyzing accidents and hotspots; Ability to use multiple databases; Features of system design, user interface design and graphical interface design; Resources for output and report generation; Resources to support the decision to locate emergency centers, police stations and hospitals.

The use of GIS in promoting road safety is seen in the study by Soleimani & Jahani (2009), in which a GIS and its tools were identified as the best solution for collecting, saving and presenting geographical information related to traffic accidents. The research of Badin *et al.* (2002) developed a GIS prototype for planning and managing road signs in Joinville. In order to update all vertical traffic signs, and to create a georeferenced database associated with each existing signage, and to be implemented.

Meinberg (2003) presents a methodology for modeling and developing a georeferencing project for traffic accidents. Through routines for creating thematic maps and developed interfaces, the program, called “Geotrans” made it possible to analyze the type of accident, the severity, the period and the location. Schmitz (2011) used GIS software to spatially analyze critical segments of the BR-285 road, in Rio Grande do Sul. Through the GIS, several alphanumeric data analysis and visualization interfaces were created. The overlapping of satellite images, the road network, the segments and points of traffic accidents allowed a better perception of the problems and made it possible to intervene from the more extended diagnosis.

When it comes to the use of spatial analysis in GIS for traffic accidents, the literature is still scarce, both in Rio de Janeiro State and for heavy vehicles.

5. Case Study: Heavy vehicles accidents in Rio de Janeiro State

The study area is geographically limited by Rio de Janeiro State. The state is located in the southeastern region of Brazil and, according to the IBGE (2020),

has an area of about 43,696.054 km². Rio de Janeiro is divided into 92 cities and 8 Government Regions. The Regions are: Metropolitana, Noroeste Fluminense, Norte Fluminense, Baixada Litorânea, Serrana, Centro-Sul Fluminense, Médio-Paraíba and Costa Verde. The road system data used concerns only the federal roads under the supervision of the PRF (Federal Roads Police). The Federal Roads that cross the state (DNIT, 2020) and were the object of this study are: BR-040, BR-101, BR-116, BR-354, BR-356, BR-393, BR-465, BR-485, BR-493 e BR-495¹ (Figure 2).

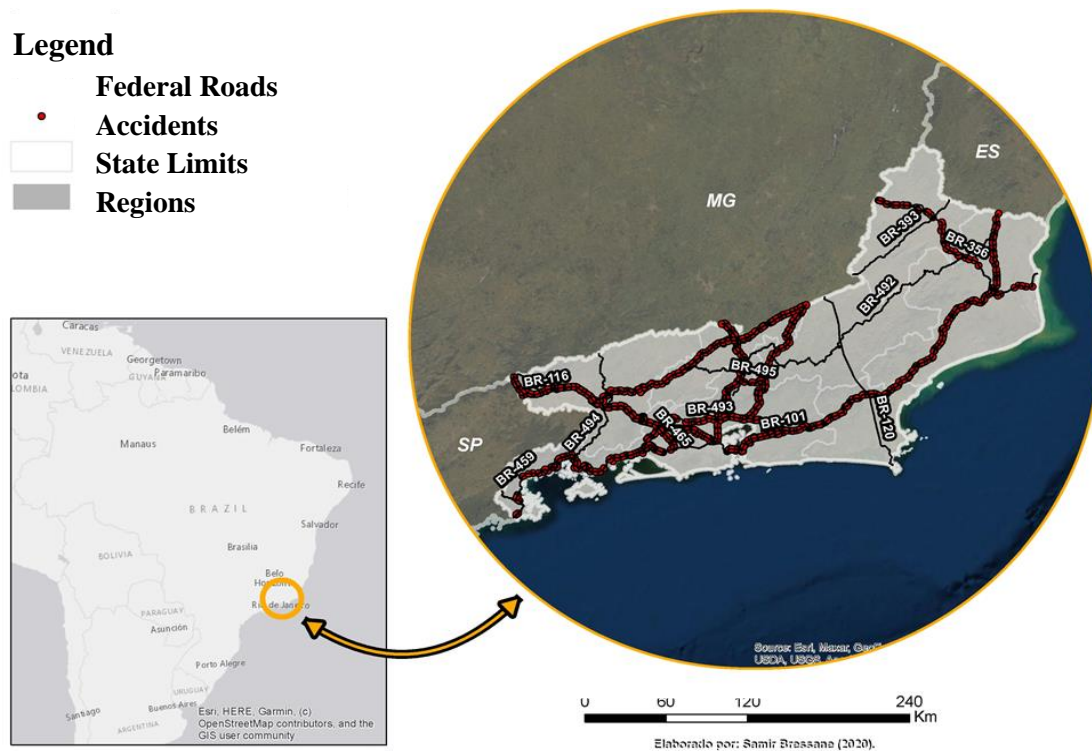


Figure 2 - Rio de Janeiro State with heavy vehicle accidents (2017-2019) on federal roads. Source: Prepared by the author.

¹ According to DNIT (2020), there are 15 federal roads that cross the state of Rio de Janeiro, however accident data were collected and made available by PRF in 10 of them.

three years, 2017, 2018 and 2019, follows what is suggested in the literature for the analyzes performed to be more significant. (ISEN *et al.*, 2013; AL-OMARI *et al.*, 2019). Traffic flow, volume data and maps of the road network (National Road System - SNV 2020) were obtained from DNIT (2020). Table 1 shows the general distribution of data that were used in the analyzes, addressing the severity of the accident in relation to the year of occurrence.

Table 1: Heavy vehicle accidents per year due to severity on federal roads in Rio de Janeiro. Source: BRASIL (2019). Prepared by the author.

| Year | Total accidents | No Victims | Light Injuries | Serious Injuries | Fatal |
|------|-----------------|------------|----------------|------------------|-------|
| 2017 | 1603 | 714 | 619 | 152 | 118 |
| 2018 | 1251 | 385 | 598 | 175 | 93 |
| 2019 | 1122 | 300 | 531 | 174 | 117 |

Software and Data Processing

The software chosen was ArcGIS 10.7.1, which is an integrated set of GIS software products, produced by ESRI. The UTM (Universal Transverse Mercator) projection of the Geocentric Reference System for the Americas (SIRGAS 2000), which is the geodetic system of reference in Brazil, was maintained as standard along the study. Among the information from the PRF, vital accident data are included, such as the date and time of accidents, types of accidents, vehicles involved, time, age and sex of drivers, the number of injuries, severity of accidents, etc. Graphical representations for understanding the distribution of data were made, in particular interest for this research were spiderplots, also known as radar charts. This method highlights the chronological nature of the data and helps to visualize the variation of accidents over time.

Kernel Density Estimation

KDE is an interpolation technique, which is a method for generalizing points of interest in a defined area. One of the advantages of this representation,

particularly for road accidents, is that they can provide a more realistic view of a continuous model of critical point patterns (ANDERSON, 2007). Equation (1) uses a quartic kernel developed by Silverman (1986) and is calculated for each location where it is desired to estimate density of events. As a scan is being created, calculations are applied to the center of each cell (pixel) in the output scan (ESRI, 2019).

$$\hat{\lambda} = \sum_{i=1}^n \frac{3}{\pi\tau^2} \left(1 - \frac{h_i^2}{\tau^2}\right)^2 \quad (1)$$

Where:

$\hat{\lambda} \rightarrow$ density in local s

$\tau \rightarrow$ Bandwidth

$h \rightarrow$ the distance between point i and the (x,y) location

Based on the above, yearly maps were created using the KDE to create a surface (Raster) of the accident density. For the kernel maps, the bandwidth of 2000 meters and the cell size of 200 meters were chosen. These parameters defined the region (neighborhood) in which KDE was calculated.

Spatial Statistics

The spatial statistical analyzes were separated into two moments, initially made for the accident points, using the Incidence of points as the main attribute and then using the Severity. For Incidence cases, a GIS tool was used that identifies points at a certain distance from the others, here used a 200m radius, and it assumes the same coordinate for them. It then combines coincident points and creates a new attribute called *ICount* to store the union of all incidents at each location (PRASANNAKUMAR *et al.*, 2011).

This research chose to create a weight for Severity, which was used as the main attribute for spatial statistical analysis. Based on values used in the literature, the weights 1, 3, 7 and 13 were chosen, for accidents without victims, accidents

with light injuries, serious injuries and fatal accidents, respectively (DNER, 1986; DENATRAN, 1987; BRASIL, 2002; AGHAJANI et al., 2017).

To perform the spatial statistics in GIS, like others authors (MOONS *et al.*, 2009; AGYAKWAH, 2018), the Global and Local Moran's I index were chosen, with the same parameters in both cases. The weight variable for Incidence was the *ICount* attribute and for Severity it was the *WeightSeverity* attribute (1, 3, 7 or 13). The Global Moran's I index assesses its significance through three result variables: Moran's index, Z-score and P-value. If the values in the data set tend to cluster spatially, the Moran's Index will be positive. This index usually varies between -1.0 and +1.0 (ESRI, 2019). A high Z-score and a small P-value indicate a significant hotspot. A low negative Z-score and a small P-value indicate a significant coldspot. P-values have ranges of levels of statistical significance of 0.10, 0.05 and 0.01, respectively, confidence level of 90%, 95% and 99% (GETIS & ORD, 1992).

The equation (2) represents the calculation for Global Moran's I index:

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} Z_i Z_j}{\sum_{i=1}^n Z_i^2} \quad (2)$$

Where:

$n \rightarrow$ number of points

$Z_i \rightarrow$ the deviation of an attribute for feature i from its mean ($X_i - \bar{X}$)

$w_{i,j} \rightarrow$ the spatial weight between feature i and j

$S_0 \rightarrow$ the aggregate of all the Spatial weights

The verification of hotspots locally, statistically significant, with the Local Moran's I index can be given by the expression described in equation (3), created by Anselin (1995), applying the concept of LISA.

$$I_i = \frac{n}{(n-1)s^2} (x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij}(x_j - \bar{x}) \quad (3)$$

Where:

$n \rightarrow$ the total number of points

$x_i \rightarrow$ represents the attribute in the local of accident i

$\bar{x} \rightarrow$ the average value of the accidents attribute in all study area

$w_{ij} \rightarrow$ represents the proximity of point i 's and point j 's locations

$S^2 \rightarrow$ variance of observed values

The Local Moran's I gives as an output a layer with five categories of hotspots: Non-significant, High-High Cluster, High-Low Outlier, Low-High Outlier and Low-Low Cluster. Only locations with statistical significance (P-value <0.01) and High-High clusters (High incidence of high values) were selected as hotspots for this research.

Numeric-Relative Method (DENATRAN, 1987)

This methodology was created by the National Traffic Department (DENATRAN) in conjunction with the Coordination of Graduate Programs in Engineering, at the Federal University of Rio de Janeiro - COPPE / UFRJ. A Standard Severity Unit (UPS) will be calculated for each segment of the highways (1km), which can be expressed by equation 4.

$$UPS = A.S.V. + A.C.V. \times 5 + A.C.F. \times 13 \quad (4)$$

Where:

A.S.V. \rightarrow the number of accidents with no victims

A.C.V. \rightarrow the number of accidents with victims

A.C.F. \rightarrow the number of accidents with fatalities

One of the advantages of this methodology is being able to assess the risk level of the highway segments taking into account the influence of traffic volume, in relation to traffic accidents (PARO, 2009; SCHMITZ, 2011; MASSARO, 2018). The Severity Rate can be expressed by the equation 5.

$$T. S. = \frac{UPS \times 10^6}{P \times VMD \times E} \quad (5)$$

Where:

T.S → Severity Rate in UPS by million vehicles

UPS → Standard Unit of Severity

P → Period of study in days

VMD → Average Daily Traffic Volume

E → Extent of the segment (in km)

The same methodology will be used again, however, to obtain the Accident Rate (T.A.). For this purpose, the value of UPS will be replaced in Equation 5 by the total number of accidents in the respective sections.

6. Results and Discussion

Temporal Distribution

After analyzing the data, it was found that the number of accidents was higher during the summer period (coinciding with the highest rainfall in the region), between December and March. Accidents were concentrated on weekdays (most professional drivers' workdays), with the highest peaks on Fridays. Figure 3(a) shows the general trend of accidents with no victims, with peaks around 7:00 and 16:00. When it rises to a severity level (Figure 3(b)), for those with light injuries, the spiderplot begins to change its shape and widen to the sides, but still maintaining a predisposition to rush hours. In Figure 3(c), when addressing accidents with serious injuries, clearly the general propensity changes and the graph is scattered. Peaks in the night time around 21:00 appear and this trend is confirmed in the last one when dealing with fatal accidents. In figure 3(d) the peak with the highest number of fatal accidents occurs between 23:00 and 00:00, as well as a distribution at 4:00 and 6:00 in the morning. Accidents in these periods tend to be more severe, drivers tend to be more tired, less attentive, with less visibility and with speeding (LE *et al.*, 2019; DABALO, 2020).

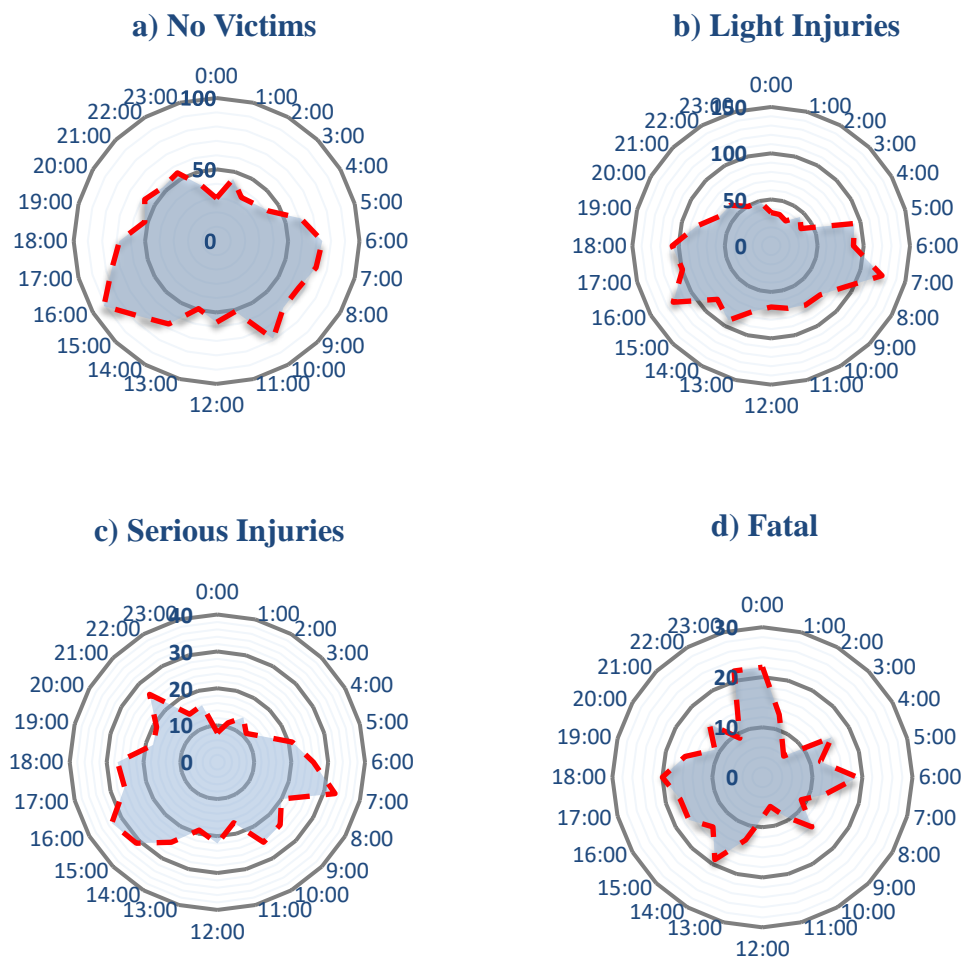





Figure 3 – Severity of accidents by hour. Prepared by the author (2020).







Kernel Density Estimation

Figure 4 shows that the highest volume of accidents is concentrated near the Metropolitana region of Rio de Janeiro, in the cities of Rio de Janeiro, São João de Meriti, Duque de Caxias, Nova Iguaçu, Itaboraí and Niterói. Another prominent region is Médio-Paraíba, which, after Metropolitana, is the most industrialized in Rio de Janeiro State. Region with a concentration of accidents, especially in the municipalities of Pirai, Barra Mansa and Resende (Figure 4). The method of grouping natural breaks (jenks) was used, separating the categories of values in order to maximize the differentiation between classes (Plug et al., 2011; Choudhary et al., 2015).

Legend

-  Federal Roads
-  Regions
-  State Limits

Kernel Density Estimation

-  No data
-  Very Low
-  Low
-  Medium
-  High
-  Very High

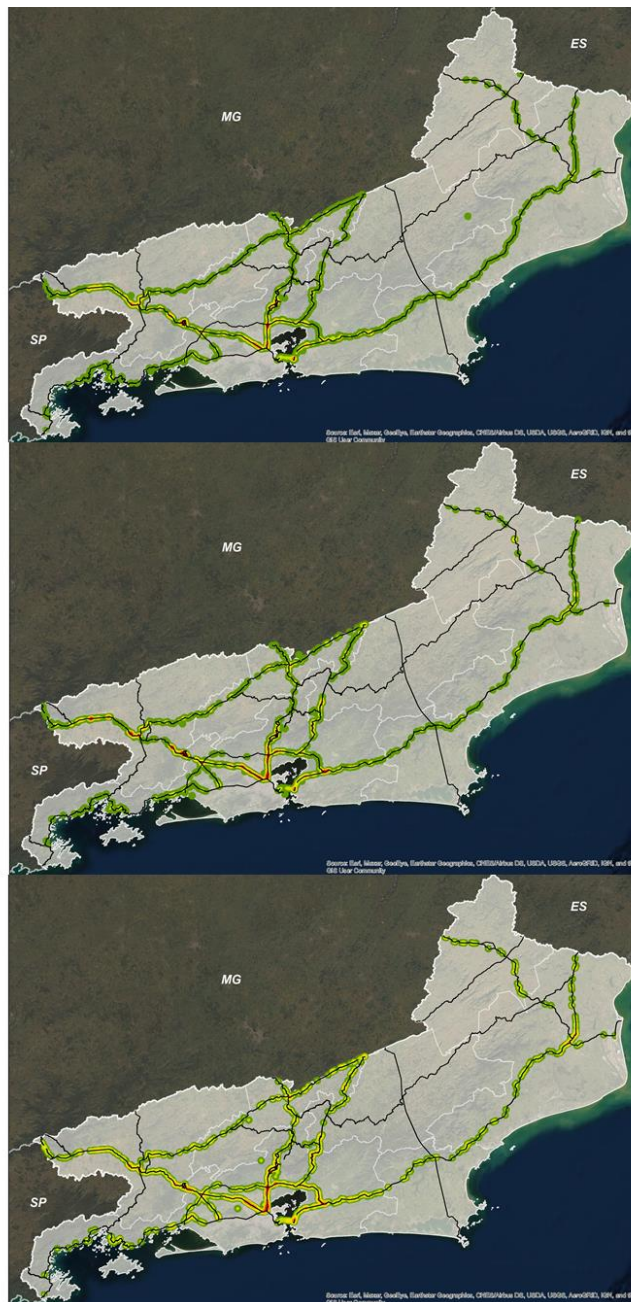
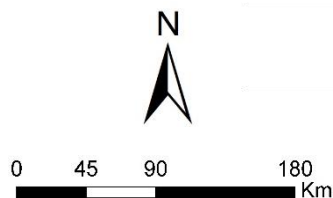


Figure 4: Kernel Density Estimation by year. Source: Prepared by the author (2020).

KDE has been widely used for road accidents due to its simplicity and ease of understanding. We can highlight those of the authors who also used this analysis: Xie & Yan (2008), Jayan & Ganeshkumar (2010), Prasannakumar et al. (2011), Choudhary et al. (2015), Shafabakhsh et al. (2017) and Le et al. (2019).

Spatial Statistics

a) Incidence of accidents

After using the Global Moran's I index, spatial autocorrelation of events for the entire area was obtained, whether they were arranged in a Dispersed, Random or Clustered manner. The Z-score and the Moran Index found were approximately 17.14 and 0.38, respectively. Which allows us to conclude that the events are strongly spatial autocorrelated. The P-score <0.01 informs that this evaluation has a statistical significance greater than 99%.

The Local Moran's I index resulted in the map in Figure 5. It is noteworthy that for this work only the "High-High" clusters were highlighted, that is, only the high concentrations of high numbers of accidents because they are the most critical (P-score <0.01 and Z-score > 2.58). 66 hotspots were found that met these requirements. It turns out that the critical points of incidence of accidents are located in similar areas to the ones of high density in KDE. The difference is that after Moran (I) Local, there is a greater accuracy and statistical significance of the hotspots presented.

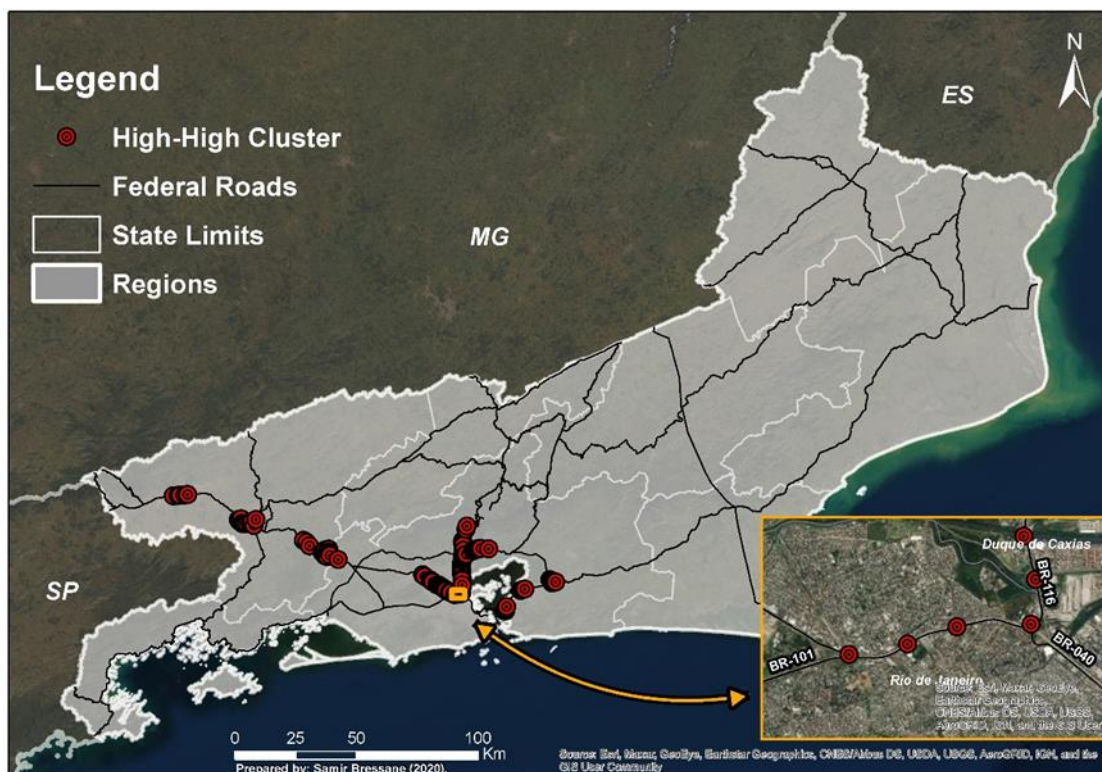


Figure 5: Hotspots High-High from Local Moran's I for accident Incidence. Prepared by the author (2020).

b) Severity of accidents

The result for the Global Moran's I index for Severity had a Z-score and a Moran index of 3.05 and 0.04, respectively. Which allows us to conclude that the events have spatial autocorrelation (less intense than the Incidence of accidents). The P-score <0.01 informs that this evaluation has a statistical significance greater than 99%. Here, it can be seen from the variables found that the severity of accidents is less concentrated (clustered) and more dispersed for heavy vehicles in Rio de Janeiro State.

Previous conclusions from the global report values were confirmed with the analysis of the Local Moran's I indexes. The hotspots identified were more dispersed across the map and demonstrated that different conditions affect accidents according to their Severity and Incidence. 97 "High-High" critical points were found (Figure 6).

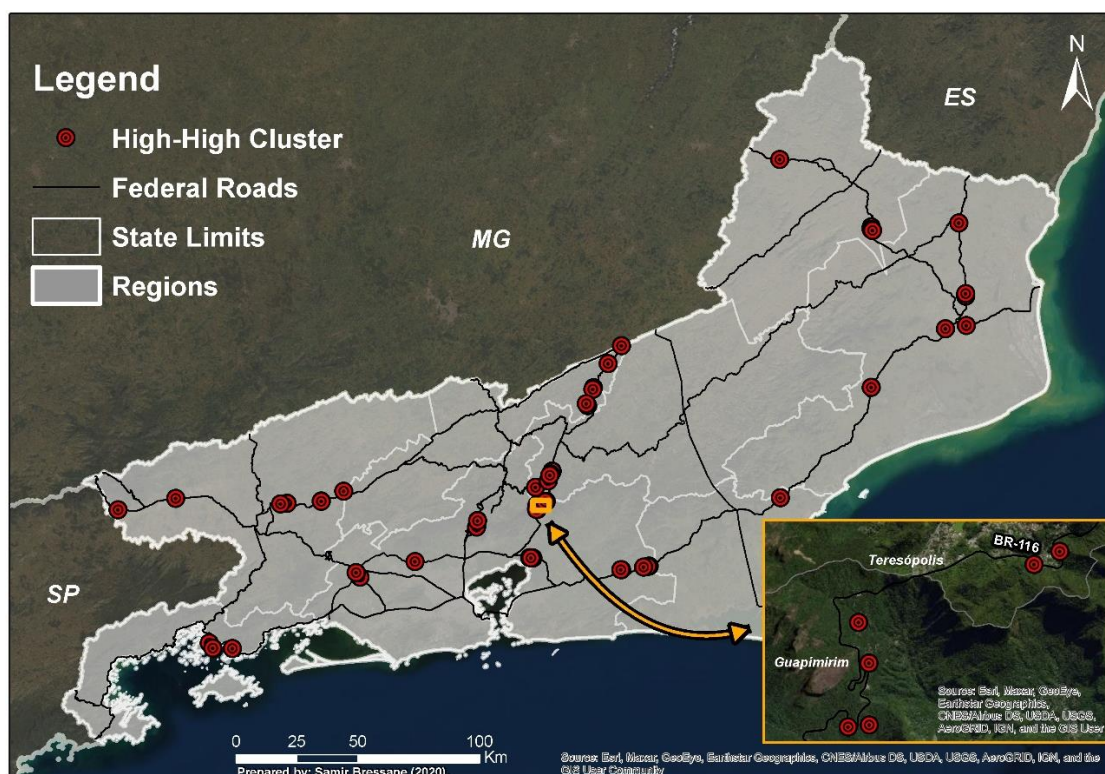


Figure 6: Hotspots "High-High" from Local Moran's I for accident Severity. Prepared by the author (2020).

DENATRAN (1987) Method

a) Accident Rate

After organizing the accidents and calculating the rates in the DENATRAN (1987) method, the results of the rates were obtained for all sections of the highways. The Accident Rates found for the twenty most critical segments ranged between 2.88 and 7.89. The three sections with the highest Accident Rates are at the beginning of BR-493, in the municipality of Itaboraí, close to the intersection with BR-101.

b) Severity Rate

The Severity Rates found for the twenty most critical segments ranged between 14.67 and 35.94. Many segments of BR-493 were also listed, with the addition of some segments more in the North and Northwest Fluminense regions on BR-101 and BR-356, respectively.

Comparison between methodologies

The KDE in this research proved to be a very good tool for visualization and direct representation of accident densities. However, it lacks more information and attributes. KDE is seen as a good tool to complement others. To facilitate the understanding of the results and better compare the other methodologies, the twenty segments identified as most critical, in the methodology of DENATRAN (1987), were mapped and plotted within the GIS software. Then, the results of the twenty hotspots, found through spatial statistical analyzes, that had the highest Z-scores were added to this map, which is the variable responsible for the degree of data clustering (Figures 7 and 8).

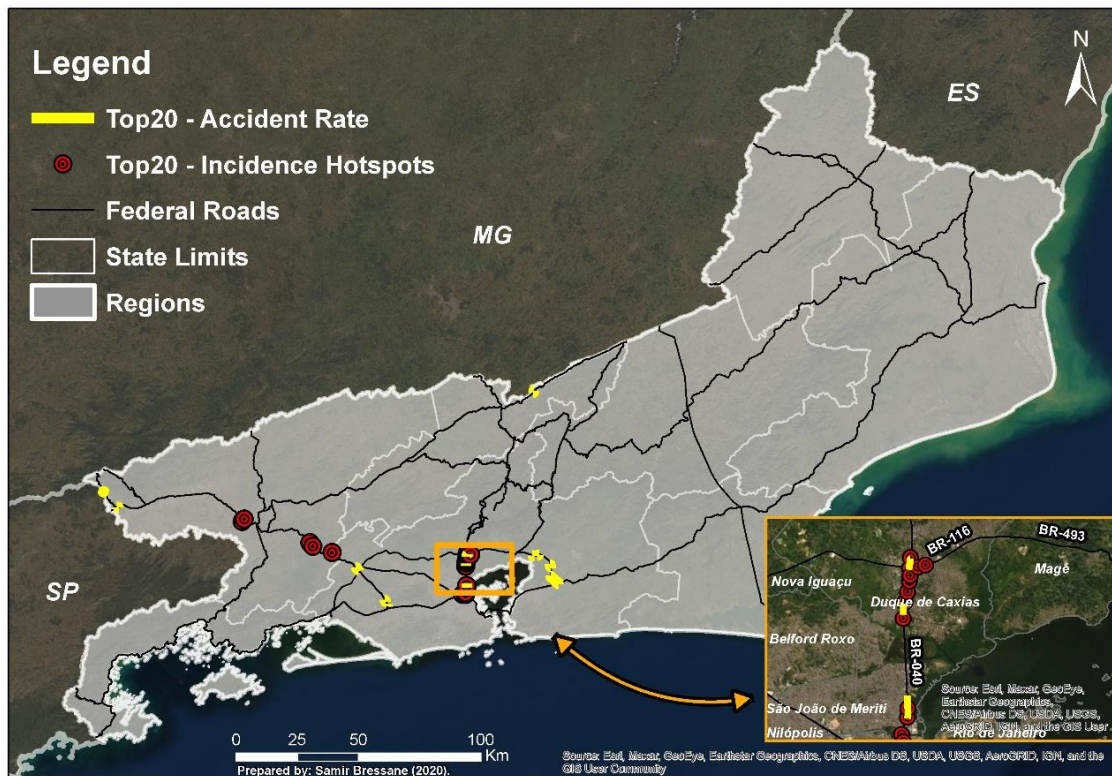


Figure 7: Comparison in GIS between DENATRAN method and Hotspots for accident Incidence.
Source: Prepared by the author (2020).

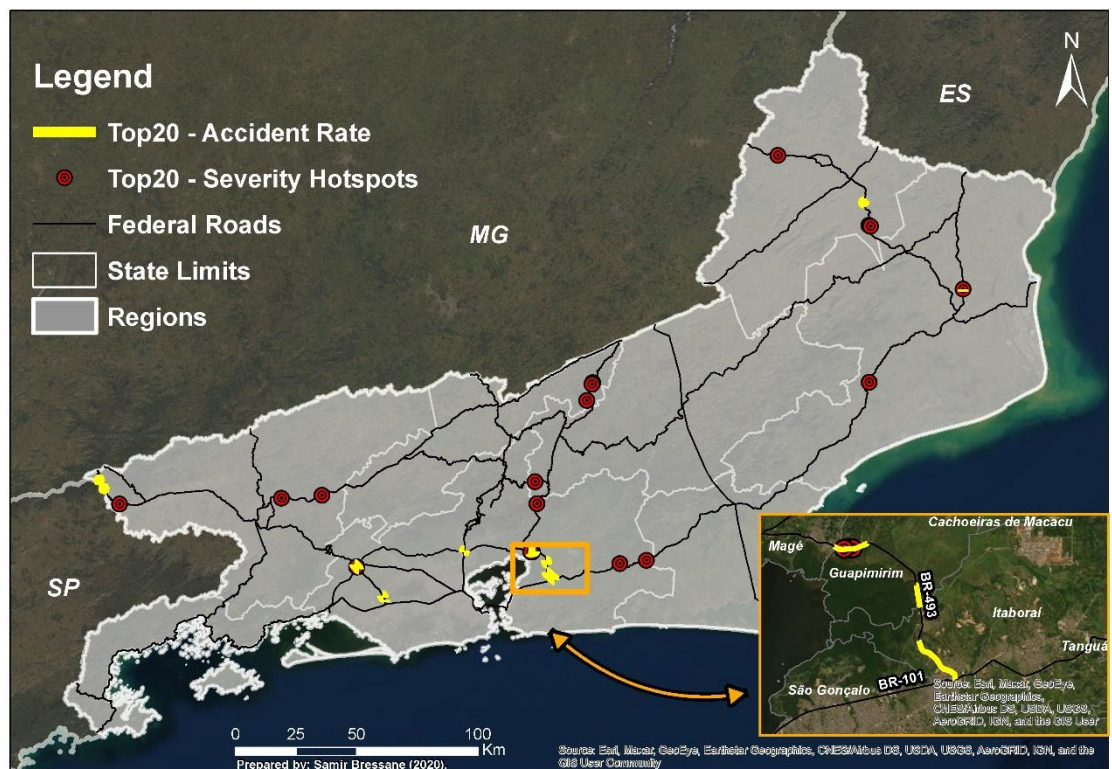


Figure 8: Comparison in GIS between DENATRAN method and Hotspots for accident Severity.
Source: prepared by the author (2020).

An advantage of the DENATRAN (1987) method, of considering and balancing the results by the Traffic Volume, can also be seen as a limiting factor. The volume seems to be very significant in the final result of the methodology. Roads with lower average volumes obtained the highest rates, both for Accident Rate and Severity Rate. The GIS spatial analysis methodology obtained a total of 66 hotspots for Accident Incidence and 97 for Severity, considered statistically significant. On the other hand, that of DENATRAN (1987) manages to obtain a numerical result (score) for each segment of the road, obtaining a complete ranking of all sections of all highways.

Other possible features in GIS for traffic accidents

The tools in GIS demonstrated in this research for traffic accidents represent a small part of the possibilities in using these systems. The register of information in these databases goes beyond just geographical coordinates. In the work of Wolff & Asche (2016), GIS was used, together with a three-dimensional geovirtual environment, to identify hotspots of crimes detected in the city of Postdam, Germany. The work of Ye et al. (2014) evaluated an approach with GIS in the production of hotspots for ADAS (Advanced Driver Assistance Systems). The prospects for possible applications on mobile platforms, smartphones, vehicle telematics systems, etc. are highlighted. Real-time data can be analyzed to develop new ways of understanding traffic.

7. Conclusions and Recommendations

From this research, it can be made some considerations. The heavy vehicle accidents in Rio de Janeiro State accumulated during rush hours, between 7 am and 9 am, and 4 pm and 6 pm. While the severity of accidents was found in greater numbers at night, between 11 pm and 12 am. Even with the lack of statistical significance, KDE is a good way of representing traffic accident data. The use in this research found a higher density of accidents in two locations, close to the metropolitan region and in the Médio-Paraíba region.

Spatial analyzes in GIS have gradually been used more with traffic accidents. In this research, the use of the Global Moran's I index, for Incidence of accidents, demonstrated strong spatial autocorrelation and the presence of significant clusters. And the Local analysis found 66 hotspots, which were located in areas similar to areas of high density in KDE, however with statistical significance. The use of the Global Moran's I index for Severity showed significant spatial autocorrelation (less than the Incidence) and the presence of clusters. In the same analysis, the Local Moran's I index found 97 hotspots. With high severity presence in the mountainous region and other points more dispersed throughout other regions of Rio de Janeiro State.

Using DENATRAN's (1987) method, the accident rates found for the twenty most critical segments ranged between 2.88 and 7.89. The highest Accident Rates were at the beginning of BR-493, in the municipality of Itaboraí, close to the intersection with BR-101. The Severity Rates found for the twenty most critical segments ranged between 14.67 and 35.94. Many parts of BR-493 were also repeated, with the addition of some segments in the North and Northwest Fluminense regions on BR-101 and BR-356, respectively.

The research demonstrated the capabilities of the GIS in the identification and representation of critical accident points in Rio de Janeiro State, which can be replicated, improved or expanded in specific municipalities, highways or segments. It is noticed that the techniques for statistical approaches, together with the perception and storage capacities of database in GIS, are little explored by the traffic management agencies and institutions in Brazil. With the advancement of technologies, databases are becoming increasingly relevant. Critical points analysis can be done on-line and fed back instantly by records of police reports. This information is very valuable and can even be used by routing applications and auxiliary systems to drivers and companies of the road sector.

As recommendations for the government, this research can mention: a) Increase the points and frequency of vehicle counting. b) Maintain a national standard in computerized systems for the collection, processing and storage of traffic accident data and the road system. c) Improve, standardize and continuously train the workforce in data recording and especially when talking about geographic coordinates.

For future work, this research suggests testing methodologies with different variables, including traffic volumes, in spatial analyzes in GIS. And also, the replication of GIS methodologies in smaller areas, thus being able to visit the most critical places, register the geometry, drainage, signaling and other environmental conditions to propose more specific corrective measures.

Keywords

Traffic accident; geographic information system; federal highway; heavy vehicle.

Sumário

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 35 |
| 2 | SEGURANÇA NAS ESTRADAS | 40 |
| 2.1 | Histórico do setor rodoviário | 40 |
| 2.2 | Transporte de carga e veículos pesados – caminhões | 46 |
| 3 | ESTUDOS E MÉTODOS DE ANÁLISE DE ACIDENTES DE TRÂNSITO | 54 |
| 3.1 | Métodos Numéricos | 58 |
| 3.2 | Métodos Estatísticos | 60 |
| 3.3 | Método de Conflitos | 61 |
| 3.4 | Auditoria de segurança | 62 |
| 4 | SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E ANÁLISES ESPACIAIS | 63 |
| 4.1 | SIG | 63 |
| 4.1.1 | Conceito e arquitetura de um SIG | 63 |
| 4.1.2 | Planos de Informação | 66 |
| 4.1.3 | Estruturas de representação de dados espaciais | 66 |
| 4.2 | Análises espaciais | 68 |
| 4.3 | Estudos de acidentes de trânsito com SIG e Análises Espaciais e/ou Temporais | 74 |
| 5 | ESTUDO DE CASO: ACIDENTES COM VEÍCULOS PESADOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO | 78 |
| 5.1 | Área de estudo | 78 |
| 5.2 | Levantamento dos dados | 82 |
| 5.3 | Escolha dos Softwares | 84 |
| 5.4 | Processamento dos dados | 84 |
| 5.5 | Preparação do SIG, Camadas e Análises | 86 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.5.1 | Análises Espaciais | 86 |
| 5.5.2 | Estimativa da Densidade de Kernel | 86 |
| 5.5.3 | Estatísticas Espaciais | 88 |
| 5.5.4 | Método Numérico-Relativo (DENATRAN, 1987) | 93 |
| 5.6 | Fluxo metodológico | 96 |
| 6 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 97 |
| 6.1 | Gráficos descritivos | 97 |
| 6.2 | Distribuição temporal | 99 |
| 6.3 | Estimativa de Densidade de Kernel (KDE) | 104 |
| 6.4 | Estatísticas Espaciais | 107 |
| 6.4.1 | Incidência | 108 |
| 6.4.2 | Severidade | 113 |
| 6.5 | Método DENATRAN (1987) | 116 |
| 6.5.1 | Taxa de Acidente | 116 |
| 6.5.2 | Taxa de Severidade | 118 |
| 6.6 | Comparação entre as metodologias | 120 |
| 6.7 | Outras funcionalidades possíveis para acidentes de trânsito em SIG | 126 |
| 7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 128 |
| 8 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 132 |
| 9 | GLOSSÁRIO | 147 |
| 10 | ANEXOS | 148 |

Lista de ilustrações

| | |
|--|-----|
| Figura 1: Frota por tipo de Veículos no Estado do Rio de Janeiro. | 37 |
| Figura 2: Perfil dos caminhoneiros no Brasil. | 48 |
| Figura 3: Conjunto mais comum de caminhão. | 51 |
| Figura 4: Fatores Contribuintes no acidente de trânsito. | 56 |
| Figura 5: Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. | 65 |
| Figura 6: Exemplo de integração de dados e camadas. | 66 |
| Figura 7: Comparativo entre representação Vetorial e Matricial (raster). | 68 |
| Figura 8: Quatro funções básicas de um SIG. | 71 |
| Figura 9: Regiões de Governo e Municípios do Estado do Rio de Janeiro. | 79 |
| Figura 10: Mapa do Estado do Rio de Janeiro com acidentes de veículos pesados (2017-2019) nas rodovias federais. | 81 |
| Figura 11: Princípio da Função do KDE. | 87 |
| Figura 12: Formas de agregar dados para realização de análises espaciais baseado na incidência de pontos. | 89 |
| Figura 13: Output do Moran (I) Local e relacionamento dos dados com sua vizinhança. | 93 |
| Figura 14: Acidentes por BR por ano. | 98 |
| Figura 15: Acidentes por Severidade por ano. | 99 |
| Figura 16: Acidentes por mês. | 100 |
| Figura 17: Acidentes por dia da semana. | 101 |
| Figura 18: Acidentes por horário. | 102 |
| Figura 19: Gravidade dos acidentes por horário. | 103 |
| Figura 20: Estimativa de Densidade de Kernel por ano. | 105 |
| Figura 21: Mapa com agregação de acidentes, gerando o ICount. | 108 |
| Figura 22: Relatório de Autocorrelação Espacial da Incidência de acidentes. | 109 |
| Figura 23: Hotspots High-High do Local Moran (I) para Incidência dos acidentes. | 111 |
| Figura 24: Relatório de Autocorrelação espacial da Severidade dos acidentes. | 114 |
| Figura 25: Hotspots “High-High” do Índice de Moran (I) Local para Severidade dos acidentes. | 115 |

| | |
|--|-----|
| Figura 26: Comparação em SIG do Método Denatran e Hotspots para Incidência de acidentes. | 122 |
| Figura 27: Comparação em SIG do Método Denatran e Hotspots para Severidade de acidentes. | 124 |

Lista de tabelas

| | |
|---|-----|
| Tabela 1: Números de frotas e acidentes com vítimas com pelo menos um caminhão. | 47 |
| Tabela 2 - Fatores de risco no trabalho de motoristas de carga. | 49 |
| Tabela 3: Acidentes de veículos pesados por ano por severidade nas estradas federais do Rio de Janeiro. | 84 |
| Tabela 4: Top20 Taxa de Acidentes (Acidentes/Milhão de veículos x km). | 118 |
| Tabela 5: Top 20 Taxa de Severidade (UPS/Milhão de veículos x km). | 120 |

“Não é nossa função controlar todas as marés do mundo, mas sim fazer o que pudermos para socorrer os tempos em que estamos inseridos, erradicando o mal dos campos que conhecemos, para que aqueles que viverem depois tenham terra limpa para cultivar. Que tempo encontrarão não é nossa função determinar.”

J R. R. Tolkien, *O Senhor dos Anéis* (1954).

1 Introdução

Aliada à incorporação do automóvel no cotidiano da sociedade, emerge um relevante problema social: os acidentes de trânsito. Enquanto nos países desenvolvidos faz-se grande esforço no sentido de controlá-los, nos países em desenvolvimento, com crescimento instável, eles surgem como um problema crescente (MARIN & QUEIROZ, 2000). Prevenir acidentes, ferimentos e mortes em acidentes de trânsito é uma prioridade global, visto que os mesmos são compreendidos como um obstáculo evitável sobre as comunidades em todo o mundo. O impacto destes acontecimentos é tal que esses acidentes custam à maioria dos países cerca de 3% do seu Produto Interno Bruto (PIB). As lesões no trânsito, por exemplo, são responsáveis por mais de 1,35 milhão de mortes e dezenas de milhões de pessoas feridas ou desabilitadas todos os anos (GONIEWICZ *et al.*, 2015; WHO, 2018).

Apesar das taxas de mortes, em relação ao tamanho da população mundial, terem se estabilizado nos últimos anos, destaca-se que as mesmas não ocorreram a um ritmo rápido o suficiente para compensar o aumento da população e a rápida motorização do transporte que ocorre em muitas partes do mundo. A lesão no trânsito é agora a principal causa de morte de crianças e adultos jovens de 5 a 29 anos. Inclusive, se apresenta como a oitava principal causa de morte em todas as faixas etárias, que superam a AIDS, tuberculose e diarreia (ITF, 2017; WHO, 2018).

No Brasil, um país majoritariamente rodoviário, a malha concentra cerca de 60% do volume de cargas transportadas (e 90% do total de passageiros), percentual que tende a crescer com a expansão do comércio entre os países da América Latina. No entanto, a infraestrutura das nossas rodovias, a precariedade da frota de veículos transportadores de cargas e diversos outros problemas favorecem substancialmente o aumento do número de acidentes (GUEDES, 2018). Relatórios da Organização Mundial de Saúde, referentes a dados de 2016, mostram que o Brasil aparece em terceiro lugar entre os países recordistas em mortes no trânsito, atrás somente da Índia e China (WHO, 2018). No Brasil, mais de 60% dos leitos hospitalares do Sistema Único de Saúde (SUS) são ocupados por vítimas por acidente de trânsito.

Nos centros cirúrgicos do país, 50% da ocupação também são por vítimas de acidentes rodoviários (VILELA, 2018).

Os acidentes de trânsito no Brasil matam cerca de 45 mil pessoas por ano e deixam mais de 300 mil pessoas com lesões graves ou permanentes. Em estudos do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2015), são apresentados dados da Polícia Rodoviária federal (PRF) do ano de 2014, quando houve 167.247 acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras, com 8.233 mortes e 26.182 feridos graves. As ocorrências diárias nas rodovias brasileiras geram enormes custos sociais e econômicos. Com a perda de vidas, há grandes traumas para a sociedade e impactos diretos e indiretos na economia. Numa estimativa conservadora, o IPEA (2015) observou que os acidentes em rodovias custam à sociedade brasileira cerca de R\$ 40 bilhões por ano, enquanto os acidentes nas áreas urbanas, em torno de R\$ 10 bilhões. Sendo que 62% desses custos estavam associados às vítimas dos acidentes, como cuidados com a saúde e perda de produção devido às lesões ou morte, e 37,4% associados aos veículos, como danos materiais e perda de cargas, além dos procedimentos de remoção dos veículos acidentados (IPEA, 2015).

Quando se fala de veículos pesados, a situação é ainda mais grave. De acordo com relatório do Ministério dos Transportes, Portos e Aviação (BRASIL, 2017), os caminhões representam cerca 6% da frota de veículos do Brasil, entretanto estão envolvidos em 16,7% de todos os acidentes, e com maior gravidade, nas rodovias federais. Expostos a jornadas de trabalho, muitas vezes, exaustivas, os caminhoneiros trabalham em situações de risco, em que a falta de segurança e o tempo longe dos seus familiares são os principais pontos negativos da profissão. Esses profissionais rodam, em média, 9.561,3 quilômetros por mês e chegam a trabalhar mais de oito horas por dia, em seis dias por semana. Um fator relacionado

ao desenvolvimento do setor de transporte e do Brasil está ligado a um trânsito mais seguro, com menos acidentes e mortes (CNT, 2019b)².

O Estado do Rio de Janeiro possui uma frota em expansão, estimada em cerca de 6.725.822 veículos (Figura 1). Informações do Dossiê Trânsito, um levantamento feito pelo Instituto de Segurança Pública (ISP) e o Detran/RJ, mostram que em 2018, 1.957 pessoas morreram e 27.520 ficaram feridas em acidentes de trânsito no Estado do Rio de Janeiro, uma média de seis vítimas fatais a cada dia (BOECHAT, 2019).

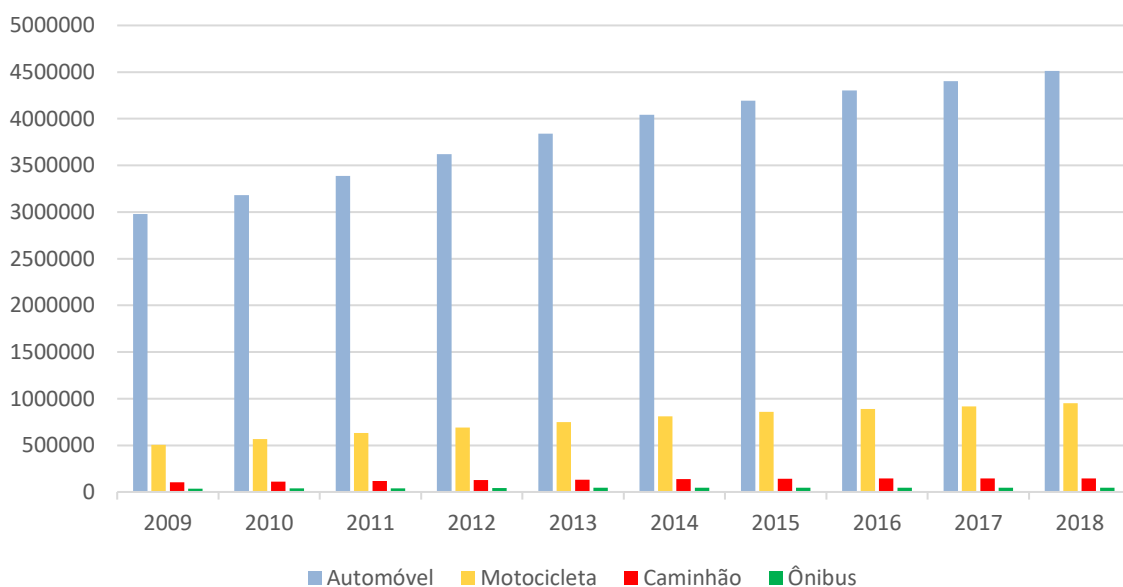


Figura 1: Frota por tipo de Veículos no Estado do Rio de Janeiro.
Fonte: IBGE, 2020

Os locais de acidentes de trânsito são informações de importância crucial para compreender as causas e implementação de medidas de segurança no trânsito.

² Esses exemplos mostram que a segurança viária vai além de meras questões estruturais e técnicas, e não está condicionada apenas pela qualidade das rodovias, mas também existe a faceta do comportamento humano.

Com a evolução das geotecnologias (em especial do Geoprocessamento), esse campo começa a ganhar muita força, com investimentos cada vez mais vultuosos e se tornando mais importante para a tomada de decisão em diversas áreas. Estudos georreferenciados permitem uso de técnicas estatísticas para análise e otimização para tomada de decisões quando inseridos em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) (SILVA *et al.*, 2009; HASHIMOTO, 2016).

Neste sentido, destacam-se os SIGs, os quais são entendidos como um conjunto de ferramentas que permitem análise, através de dados espaciais, associando dados geográficos a uma infinidade de atributos. Atualmente é muito utilizado na busca de soluções para o gerenciamento de dados (espaciais, alfanuméricos ou imagens) e integração dos mesmos (LUZ & LEAL, 2009). Proporciona um inter-relacionamento entre bancos de dados e mapas, em que são integradas as informações cartográficas, localização com coordenadas, e os atributos provenientes de um banco de dados da respectiva aplicabilidade, como o registro de acidentes de trânsito (SILVA *et al.*, 2009).

Este trabalho possui como objetivo central estudar ferramentas espaciais em SIG nas análises de acidentes de trânsito envolvendo veículos pesados nas rodovias federais no Estado do Rio de Janeiro.

Adicionalmente, o trabalho também se propõe a:

- Identificar as metodologias existentes na literatura para mapeamento e gerenciamento de pontos críticos de acidentes.
- Identificar os pontos críticos de ocorrências de acidentes envolvendo veículos pesados, nas rodovias federais do Estado do Rio de Janeiro, aplicando análises estatísticas espaciais em SIG e com metodologia nacional desenvolvida pelo DENATRAN (1987);
- Testar cada metodologia com base na Incidência e na Severidade dos acidentes;
- Verificar e comparar as vantagens e desvantagens das metodologias.

O trabalho está dividido em 6 capítulos. O Capítulo 1 apresenta a situação atual da segurança rodoviária nas estradas brasileiras. Aborda-se também uma visão mais específica sobre os acidentes de trânsito envolvendo veículos pesados, mais

especificamente caminhões. O Capítulo 2 explicita metodologias de análise de acidentes e de localização de pontos críticos, valorizando as diferentes possibilidades de análise dos fenômenos estudados. O Capítulo 3, por sua vez, traça uma abordagem sobre a importância e centralidade dos Sistemas de Informação Geográficas enquanto ferramentas de análise, explorando ainda as possibilidades de utilização dos mesmos na segurança viária, assim como as Análises Espaciais e Geoestatísticas aplicáveis ao setor rodoviário. O Capítulo 4 apresenta o estudo de caso e os procedimentos metodológicos que foram utilizados no trabalho e suas respectivas fontes. O Capítulo 5 apresenta os resultados e discussões acerca dos mapas, análises e metodologias à luz da literatura existente. O Capítulo 6 apresenta as considerações finais da pesquisa, onde são atendidos os objetivos propostos e, adicionalmente, são enumeradas recomendações ao poder público e sugestões de pesquisas futuras no uso de SIG para segurança viária.

2 Segurança nas estradas

2.1 Histórico do setor rodoviário

Uma das limitações para o desenvolvimento do homem, e sua expansão regional, foi o transporte manual de bens e propriedades. A aplicação de animais como meio promoveu essa mobilidade, uma vez que, além de empregá-los no deslocamento, aproveitava-os para o sustento do grupo (SANTOS, 2002). A economia, fundada no extrativismo, paulatinamente passou por transição para uma atividade agrícola e de pastoreio, culminando em profunda evolução na história humana, e por conseguinte, nos transportes. Os transportes de arrasto representaram o início experimental dos meios de transporte, os quais se mostraram promissores, sobretudo nas regiões com terreno regular e em regiões com presença de gelo e neve. De maneira oposta, em regiões acidentadas e irregulares, essa metodologia de arrasto encontrou obstáculos intransponíveis, o que, por sua vez, serviu de base para motivação da invenção da roda por volta de 3500 a.C. (FARIA, 2000).

O progresso dos meios de transporte, tendo como propulsão a invenção da roda, permitiu ao homem se deslocar e povoar diversas regiões, firmando o domínio de algumas nações sobre outras e, assim, deu curso ao progresso da civilização (SANTOS, 2002). Neste contexto, conforme escrito por Faria (2000), destaca-se o papel dos romanos, os quais foram pioneiros na construção de pontes e estradas pavimentadas, e com grande contribuição para desenvolvimento e aperfeiçoamento de veículos terrestres. Na Europa, algumas das ferrovias mais importantes, até os dias de hoje, seguem fielmente o mesmo traçado das estradas construídas pelos romanos.

Historicamente, identifica-se que existe uma conexão entre a condição de como o processo de ocupação de um território se desencadeia e a constituição de suas vias de transportes. Pode-se dividir aqui as nações em dois grupos, um primeiro contendo aquelas em que a organização de suas vias é tida como determinante no processo da sua ocupação territorial e, em segundo, aqueles em que esta última a determina. No território brasileiro, ocorreu o relatado no segundo grupo, no qual a ocupação durante o período colonial (1500-1822) estabeleceu o arranjo viário do

país. Dispersa e esparsa, foi a configuração na qual a população brasileira habitava a superfície territorial, dispondo da lógica de ocupação “com base de apoio na costa, projetando-se para o interior, isolando os habitantes em ilhas de povoamento” conforme afirmado por Natal (1991, p.293)³.

Furtado (2005, p.16) descreve que essa ocupação territorial e econômica foi desempenhada, fundamentalmente, devido à pressão política exercida sobre Portugal e Espanha pelas demais nações europeias. E registra: “[...] prevalecia o princípio de que espanhóis e portugueses não tinham direito senão àquelas terras que houvessem efetivamente ocupado”. Tal processo reflete, como também destacado por Natal (1991), em investimentos em infraestrutura, e outros custos, variando com a extensão do território a ser atendido. Entende-se, desta maneira, que uma mesma população ocupando um território maior exigirá maiores investimentos nas vias e infraestrutura urbana. As lacunas demográficas criadas, juntamente com a carência de ligações diretas entre os povoados acabam por elevar os custos de transportes.

Ressalta-se aí a inserção brasileira, durante o período colonial, num contexto mundial da acumulação primitiva de capital. A formação da sua estrutura econômica, fundamentada na grande propriedade rural de produção em monocultura, e voltada para a exportação são carências da organização do seu desenvolvimento. Resultando na falta de unidade e comunicação entre suas regiões (KAPRON, 2012).

Separados, economicamente e espacialmente, os sistemas econômicos encontraram óbices para seu avanço. O século XIX foi marcado pela primordialidade do escoamento das produções de café e ouro (FURTADO, 2005). Os transportes acompanharam essa mercantilização da economia e uma essencial revolução mostrou-se necessária. O transporte rodoviário, antes mesmo do decurso

³ Lógica diversa dessa foi a da ocupação territorial nos Estados Unidos. Aonde a distribuição populacional concentrou-se inicialmente na costa, sendo ocupada quase que totalmente, para em seguida avançar para o interior, na medida em que os recursos se esgotavam ou havia aumento populacional (NATAL, 1991).

dessa industrialização, pouco evoluiu durante ela. No mesmo período, a navegação marítima enfrentava obstáculos, como a continuidade da força motriz, a não-durabilidade da madeira do casco e o da limitada capacidade de carga das embarcações. Mundialmente, esse contexto permitiu que a ferrovia, com sua grande capacidade de carga, consolidasse-se como meio de transporte preponderante (NATAL, 1991; SANTOS, 2002).

Natal (1991, p.296) inclusive destaca ao longo de sua obra um exemplo bastante central para que se entenda o impacto desta transformação. Citando a Inglaterra como exemplo, o autor ressalta que “(...) a rede ferroviária saltou de 500 milhas em 1838 para 6.600 em 1850; em 1870, ela alcançou 15.500 milhas. O número de passageiros transportados, na mesma Inglaterra, passou de 73.000.000 em 1850 para 337.000.000 em 1870”. Enquanto isso, no Brasil, dados mostram que no início da década de 1850 havia apenas 14,5km de malha construída (NATAL, 1991). Nas primeiras décadas do século XX eram poucas ferrovias para atender à crescente demanda por transportes, concentrados nas regiões Sul e Sudeste, com baixa qualidade e em pequena quantidade. Tendo em vista a inadequação das vias ferroviárias brasileiras, observou-se então a necessidade por um novo padrão de transportes que ganhava espaço, o rodoviarismo-automobilismo. Esse padrão apresentou-se para integrar as diferentes regiões entre si, bem como reduzir as consequências da ocupação dispersa também dentro de cada região e sistema econômico (NATAL, 1991).

No século XX consolidou-se o uso dos veículos rodoviários como um dos mais relevantes meios de transporte, tanto de passageiros quanto de cargas. E o Brasil, notadamente, passou por mudanças estruturais a partir desse predomínio dos transportes no modal rodoviário. (CASTRO, 2000). Conforme Aragão *et al.* (2001), o desenvolvimento do transporte rodoviário no Brasil teve seu início no final da década de 1920, com o presidente Washington Luís, o qual utilizava o slogan: "Governar é abrir estradas". Apesar desse importante período, somente a partir de 1937, houve a criação do departamento nacional de Estradas de Rodagem (DNER). O DNER, foi criado com o objetivo de implantar a malha rodoviária que serve até hoje o setor de transportes no Brasil (ARAGÃO *et al.*, 2001).

Após a crise mundial de 1929, há um deslocamento dos recursos aplicados no café para as atividades industriais. E, já no início da década de 1930, a

industrialização no Brasil é acelerada com essa permuta das atividades exploratórias rurais. Entre 1938 e 1945, com o advento da Segunda Guerra Mundial, houve um distanciamento dos mercados brasileiro e europeu. A escassez comercial, proveniente desse afastamento, tornou necessária a industrialização brasileira localmente. Período esse, aonde os setores de derivados de petróleo, automobilístico e de infraestrutura viária se tornaram imprescindíveis para os sistemas e meios de transporte brasileiro (SOUSA, 2005).

Até esse momento não se podia ainda afirmar que o Brasil estava na “era rodoviária”. Foi então que em 1934, por fim foi aprovado o Plano Geral de Viação Nacional. Este foi o primeiro plano aprovado por órgãos oficiais e, mesmo contendo diversos modais de transporte, continha planejamento de rodovias buscando a interligação do território nacional (GALVÃO, 1996; KAPRON, 2012). O que indicava uma futura convergência para o desenvolvimento no transporte rodoviário. Já em 1944, o Plano Rodoviário Nacional foi aprovado e foi o primeiro com foco totalmente rodoviário. Após a década de 1940, consolidava-se uma cultura do automóvel, constituindo-se assim como um impulsionador da expansão rodoviária (KAPRON, 2012).

Nessa conjuntura, alicerçada à essência rodoviária, em 1945 ocorre a reorganização do DNER e a criação do Fundo Rodoviário Nacional (FRN) para construção, conservação e melhoria das estradas do país. Este fundo centralizava os recursos vindos do IUCL (Imposto Único sobre Combustíveis e Lubrificantes) e foram complementados pela TRU (Taxa Rodoviária Única) de 1969 e pelo ITR (Imposto sobre o Transporte). A ideia de descentralização dos recursos já se esboçava com a deterioração da malha rodoviária, então com a Constituição de 1988, estabeleceu-se a transferência da TRU (nacional) para o IPVA (estadual). Em 2001, extinguiu-se o financiamento oriundo do FRN e no seu lugar foi adotada a CIDE (Contribuição sobre Intervenção do Domínio Econômico) para financiar a infraestrutura dos transportes. A CIDE, por lei, previa que 75% dos seus recursos sejam aplicados no setor transportes (SANTOS, 2007; KAPRON, 2012).

Na verdade, as ligações por rodovias, nessa época, avançaram mais dentro das regiões isoladas do que em termos de ligações inter-regionais. De fato, a construção de Brasília inicia uma marcada inflexão, cumprindo um papel decisivo na integração econômica (NATAL, 1991). No início do século XX, o Brasil ainda

constituía um imenso arquipélago de ilhas econômicas. Surgiu então a “ideologia nacionalista da marcha para o Oeste”, onde Brasília representou uma opção para organização do espaço nacional fundada na ruptura do isolamento dessas áreas (GALVÃO, 1996).

No governo de Juscelino Kubitschek (JK) (1956-1961), o país atravessou uma fase de grande desenvolvimento industrial, justificado pela implantação do Plano de Metas, que privilegiava estrategicamente o setor de transportes e energia. Acompanhado disso houve uma implantação de inúmeras indústrias multinacionais (Volkswagen, Ford e General Motors), gerando uma internacionalização na economia, particularmente por esta estar baseada em petróleo, eletricidade, siderurgia e mineração (LAFER, 2002).

A controversa instalação da capital do País, num deserto econômico e demográfico, fundamentou-se numa ação reequilibradora, permitindo a configuração de uma rede de estradas interligando todas as regiões econômicas do País. E foram essas conexões internas que, criaram no Brasil, um sistema nacional integrado de transporte. Apesar de contestável, a construção de Brasília constituiu importante passo, tornando o país mais sistematicamente organizado e abrangendo o espaço econômico nacional (NATAL, 1991). Posteriormente, os militares dão sequência aos investimentos em infraestrutura viária iniciados por JK. Durante o período da ditadura, em 1964, nasceu o primeiro Plano Nacional de Viação (PNV) e em 1967, criou-se o Ministério dos Transportes. Com o decorrer do tempo o modelo público dos sistemas de transportes no Brasil se mostrou inviável em alguns casos. No final da década de 1980 ocorreu, gradualmente, a substituição de um modelo centralizado e autoritário dos recursos, reforçado durante o regime militar, por um mais descentralizado com a participação da iniciativa privada (SANTOS, 2007).

Com a abertura à esfera privada do setor viário, coube ao governo regulamentar a atividade e criar órgãos de controle. Dentro das circunstâncias das relações econômicas, instalou-se um novo modelo de intervenção pública, baseado em agências reguladoras e privatização de rodovias. As atribuições do DNER foram substituídas pela recém criada Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT). Essas condições permitiram novos meios de organização do transporte rodoviário de

cargas, tanto na relação institucional quanto na modernização do setor privado. Nesse decurso, reproduziu-se uma ampliação do transporte rodoviário internacional de cargas e no uso do transporte multimodal, representando condições mais notáveis a partir dos anos 1990 (KAPRON, 2012).

Em relação à rede rodoviária nacional com pavimentação, de acordo com a CNT (2019b), no ano de 1955 havia uma extensão de pouco mais de três mil quilômetros, em 1970 constituía de mais de 49 mil quilômetros e no ano de 1990 era pouco mais de 139 mil quilômetros. Dados mais recentes mostram que são 213,5 mil quilômetros, representado apenas 13,7% do total da malha rodoviária nacional (1.56 milhão de quilômetros). O transporte rodoviário é o principal ramo dentre os modais terrestres, uma vez que, em 2018, empregava de dois a cada três trabalhadores formais que atuam na área de transporte no Brasil. Isso representa cerca de 1,8 milhões de trabalhadores (BRASIL, 2018; CNT, 2019b).

O transporte rodoviário de carga é, no Brasil, o mais importante meio de distribuição de mercadorias, e características peculiares lhe concedem essa hegemonia. Investigando-se o transporte de passageiros, nota-se proporção mais desequilibrada em favor do modal rodoviário. Este meio se encarrega de transportar mais de 90% de todos aqueles que se deslocam sem veículo próprio. Evidencia-se aqui, complementarmente, a relevância da ligação entre o setor automobilístico e o petrolífero. A força política e econômica desses dois segmentos extravasa apenas características nacionais. Em quase todos os países do mundo, mais de 50% dos deslocamentos de mercadorias e pessoas ocorre pelo modal rodoviário. Por conseguinte, não se pode contemplar a análise do transporte rodoviário de cargas sem compreender a valia estratégica do binômio “automóvel-petróleo” durante todo o século XX (SANTOS, 2007).

Quando se fala de Produto Interno Bruto (PIB), a atividade de transporte brasileira vem, historicamente, obtendo constante aumento da sua parcela de contribuição. Entre os anos de 1985 e 1999 sua representatividade passou de 3,7% para 4,3% no PIB brasileiro. Entre os anos de 1970 e 2000, o setor de transportes cresceu cerca de 400%, enquanto no mesmo período o crescimento do PIB foi de 250% (FLEURY, 2003 apud IPTRANS, 2018).

SANTOS (2007, p. 6) ressalta a significância dos transportes, tendo o modal rodoviário de cargas um elemento central, na economia moderna e com respeito ao

perfil de desenvolvimento econômico do país. Dentre os aspectos considerados mais relevantes nesta discussão sobre o setor de transportes no Brasil o autor cita:

- A posição do transporte na economia do Brasil;
- A função dos transportes no desenvolvimento econômico;
- A preeminência do modal rodoviário como principal meio de deslocamento de mercadorias.

O setor de transportes desempenha um papel fundamental na busca do desenvolvimento. Mesmo que o avanço tecnológico permita a troca de informações em tempo real, o transporte sempre será fundamental para que se consiga atingir os objetivos logísticos do país, influenciando diretamente no seu custo.

2.2 Transporte de carga e veículos pesados – caminhões

De acordo com ZIEGLER e RUSSO (1989 apud KAPRON, 2012, p. 36):

O caminhão passou a ser uma nova máquina utilizada como alternativa no transporte em estradas de rodagem notadamente a partir dos anos 1900. Inovação técnica e desenvolvimento tecnológico o acompanham, sendo um dos elementos da era industrial automobilística e petrolífera. É um dos modernos veículos rodoviários para o transporte de cargas e no Brasil em suas origens tanto realizou o transporte de passageiros como de mercadorias.

A profissão de caminhoneiro sempre foi importante para a economia do Brasil. Conforme exposto por Guedes (2018), esse profissional transporta mais de 60% de toda a carga que circula pelo país. No caso específico dos combustíveis derivados do petróleo, 90% do total da produção depende do transporte rodoviário para ser escoado. Isso garante que uma parte significativa do PIB está com esses profissionais. Outros setores da economia dependem quase que exclusivamente dessa movimentação feita por veículos pesados, seja ela de mercadoria, seja ela de insumos, incluindo combustíveis, alimentos, remédios, água, gás, e outras mercadorias essenciais (GUEDES, 2018).

A dependência do Brasil foi demonstrada com clareza quando da paralisação dos caminhoneiros em 2018 durante 11 dias consecutivos (SILVA, 2018). As consequências geradas tiveram grandes proporções, influenciando toda a economia do país. De acordo com o jornal Estado de São Paulo (SILVA, 2018), alguns levantamentos calculam que as perdas financeiras para o país ultrapassaram os R\$ 75 bilhões. Somado a isso, a frota de caminhões para suprir as demandas da sociedade só aumenta no Brasil com o passar dos anos, e com ela, situações de risco (Tabela 1).

Tabela 1: Números de frotas e acidentes com vítimas com pelo menos um caminhão.
Fonte: DENATRAN (2020) e BRASIL (2019). Elaboração do autor.

| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Frota | 4.557.787 | 4.890.018 | 5.196.395 | 5.409.174 | 5.586.558 | 5.765.383 | 5.989.574 |
| Brasil | 17.724 | 18.052 | 17.506 | 14.743 | 13.716 | 13.327 | 12.631 |
| Norte | 969 | 996 | 965 | 825 | 760 | 751 | 731 |
| Nordeste | 3.705 | 3.828 | 3.725 | 3.103 | 2.698 | 2.757 | 2.667 |
| Sudeste | 6.187 | 6.214 | 5.928 | 4.882 | 4.637 | 4.365 | 4.013 |
| Sul | 4.607 | 4.541 | 4.566 | 3.966 | 3.777 | 3.745 | 3.513 |
| Centro-Oeste | 2.254 | 2.473 | 2.322 | 1.967 | 1.844 | 1.709 | 1.707 |

Recentes alterações na legislação que rege o trabalho do caminhoneiro podem contribuir com aumento dos riscos na profissão. A promulgação da Lei nº 13.103/2015, em substituição à Lei nº 12.619/2012, trouxe perdas de significativas para a saúde e segurança de motoristas de caminhão. Entre as principais, o aumento do limite da jornada de trabalho diária de 10 para 14 horas e das horas ininterruptas de trabalho de 4 para 5,5 horas. O repouso do motorista, na hipótese de dois condutores, poderá ser exercido na cabine leito, com o veículo em movimento e não estacionado conforme previsto na lei anterior. Ao longo das 24 horas de trabalho, são 11 horas de descanso fracionáveis na cabine leito do veículo, entre outros pontos (NARCISO & MELLO, 2017).

Os caminhoneiros brasileiros (Figura 2), expostos a jornadas de trabalho, muitas vezes, exaustivas, trabalham em um ambiente em que o risco, a falta de

segurança e o tempo de isolamento são pontos negativos da profissão. O risco de roubo e assalto é algo que afeta esses profissionais, que lidam com esse problema com ampla frequência, até o ponto de recusar viagens pela exposição iminente ao risco. Esses profissionais rodam, em média, 9.561,3 quilômetros por mês e chegam a trabalhar mais de oito horas por dia, em seis dias por semana (CNT, 2019a).

Perfil dos Caminhoneiros



Figura 2: Perfil dos caminhoneiros no Brasil.
Fonte: CNT, 2019a.

A profissão de motorista de carga no Brasil agrega características intrínsecas à função que contribuem para riscos agregados consideráveis. Permeiam o meio físico, social, pessoal, emocional e ambiental. Algumas delas são organizadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Fatores de risco no trabalho de motoristas de carga.
 Fonte: NARCISO & MELLO (2017) e CNT (2019a). Elaboração do autor.

| Problema | Justificativa | Consequência |
|------------------------------|---|---|
| Distância percorrida | A ampla área territorial brasileira (8.510.295,9 km ²) (IBGE, 2020) ⁴ , com dimensões continentais, sendo quase do mesmo tamanho da Oceania (8.525.989 km ²) e um pouco menor do que toda a Europa (10.180.000 km ²) (PENA, 2020). | Exposição ao risco por muito tempo em uma viagem. A necessidade de ficar dias à frente da condução leva ao desgaste físico e, consequentemente diminuição dos reflexos. |
| Cumprimento de prazos | Pressão pelo cumprimento de prazos e remuneração, frequentemente, baseada no km rodado ou número de viagens. | Com um menor prazo, andam em velocidade acima da permitida e, em casos extremos, podem chegar até a utilizar substâncias químicas proibidas, que afetam as noções de tempo e espaço. |
| Falta de descanso | O risco de acidentes aumenta em função do trabalho ininterrupto. Esse risco aumenta a partir das 9 horas de jornada. Com 12 horas de trabalho, o risco dobra, e com 14 horas, esse fator de risco triplica (MORENO & ROTENBERG, 2009). | Jornadas exaustivas fazem com que os caminhoneiros invertam seu ciclo de sono, e essa inversão resulta em uma excessiva carga física, cognitiva e psíquica. |
| Excesso de carga | Abusos por parte de algumas empresas, que muitas vezes obrigam seus motoristas a transportar excessos consideráveis. O veículo, quando trafega com sobrepeso, tem maior risco de se envolver em um acidente. | A sobrecarga dificulta a frenagem e a mudança brusca de direção, causando tombamento. A situação piora com a velocidade. Pode ocorrer também o derramamento de substâncias tóxicas nas rodovias, trazendo prejuízos ao meio ambiente, interdição e deterioração da via. |
| Manutenção do veículo | Pneus, suspensão, freios e equipamentos obrigatórios devem estar em perfeitas condições de uso e manutenção. O ritmo intenso de trabalho, poucos pontos de serviço e manutenção, são fatores que afetam diretamente o desgaste do | Sem uma correta manutenção, imprevistos podem ocorrer como, por exemplo, falha na frenagem e perda de direção, que podem colocar em risco não apenas o condutor, mas |

⁴ Dados publicados no DOU nº 94 de 19/05/2020, conforme Portaria nº 177, de 15 de maio de 2020.

| Problema | Justificativa | Consequência |
|--------------------------------|---|--|
| | veículo, o qual, geralmente, trabalha em seu limite operacional. | também os passageiros, outros motoristas e pedestres. |
| Imprudência | Fatores intencionais, como ultrapassagens em locais proibidos, condução em alta velocidade e fatores indiretos, em geral associados à imperícia, inabilitação, inexperiência, ou, então, associados a condições físicas e psicológicas (sonolência, pressa, desatenção, cansaço, entre outras). | Criação de uma cultura de riscos. |
| Mal súbito | Doenças preexistentes, como pressão alta, diabetes, obesidades, são problemas que podem levar o condutor a ter um mal súbito. Desmaios podem ser motivados também pela exposição ao calor excessivo, à desidratação e à alimentação inadequada. | A manifestação, muitas vezes, se dá de forma repentina e isso, para quem se encontra ao volante, prenuncia um desastre quase certo. Em casos mais extremos, acidentes vasculares cerebrais e infarto agudo podem acontecer com quem está na direção. |
| Infraestrutura precária | Problemas de Geometria da Via (falhas no projeto ou falha na adequação da capacidade), Sinalização (inexistência ou informação incorreta devido a problemas de implantação e de manutenção) e ao estado do Pavimento ⁵ . | A qualidade da infraestrutura obriga o motorista, muitas vezes, a realizar frenagens bruscas, aumentando o risco de colisão seja frontal, seja traseira, principalmente ao tentar desviar de buracos. |

Para o transporte de longas distâncias é mais comum a utilização de conjuntos formados por duas estruturas: um veículo-trator e um veículo rebocado chamado de reboque ou semirreboque (Figura 3), com diferenciação pelos eixos. Esses conjuntos estão limitados pela Legislação vigente a um Peso Bruto Total (PBT) máximo de 57 ton. A Legislação que estabelecia os limites de pesos e dimensões para os veículos de transporte terrestre era a Resolução 12/98 do

⁵ Segundo dados da CNT (2019a) em 2018, 107.161 km de rodovias (malha rodoviária federal e os principais trechos estaduais), 57,0% delas apresentavam algum tipo de problema no pavimento, na sinalização ou na geometria.

CONTRAN (Já revogada pela 210/06). Uma legislação mais antiga dessa matéria, a Resolução 631/84 do CONTRAN, impunha uma série de restrições adicionais como no art. 3º. que limitava o horário para trânsito com conjuntos de veículos entre 6:00h e 18:00h e seu limite de velocidade máxima de 60 km/h (CONTRAN, 2006).

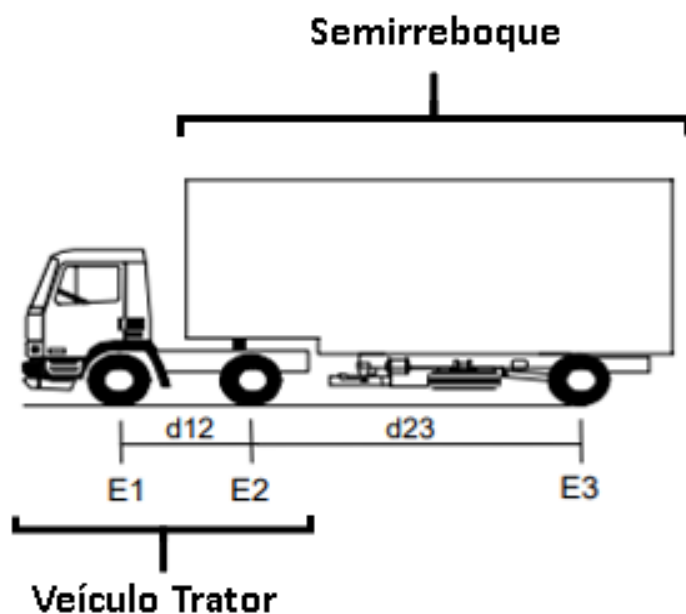


Figura 3: Conjunto mais comum de caminhão.
Fonte: DNIT, 2012.

Após a Resolução 68/98 (Revogada pela 221/06), foi liberado o trânsito diurno para combinações com até 19,8 metros (acima disso apenas com Autorização Especial de Trânsito – AET) e velocidade máxima de 80 km/h. Com esse advento, muitas transportadoras optaram pela Combinações de Veículos de Carga (CVC) pelo custo-benefício oferecido devido a maior capacidade de carga líquida⁶. Essas Resoluções trouxeram alterações significativas na matriz do

⁶ Em agosto de 2000, o Departamento Americano de Transporte (DOT) publicou um estudo sobre tamanho e peso de caminhões. O estudo registrou o ganho de produtividade (entre US\$ 10 bilhões e

transporte rodoviário de cargas, propiciando um rápido crescimento do volume de CVCs em circulação. Um dos CVCs mais usados no Brasil é o Bitrem, estima-se que existam dezenas de milhares de conjuntos circulando, atendendo aos mais variados segmentos de transporte, da safra agrícola ao transporte de produtos perigosos (PENTEADO, 2004).

Dados dos Estados Unidos entre 1992 e 2002, mantidos pelo National Highway Traffic Safety Administration (FEDERAL MOTOR CARRIER SAFETY ADMINISTRATION, 2004), mostram que a cada ano aproximadamente 4.700 pessoas morrem em todo o país em acidentes envolvendo caminhões. E, dessas mortes, aproximadamente 85% são ocupantes de veículos que não são caminhões, de acordo com a Federal Motor Carrier Safety Administration (KHORASHADI *et al.*, 2005). Ainda nos Estados Unidos, 25 caminhoneiros morrem em acidentes rodoviários por ano para cada grupo de 10.000, enquanto no Brasil essa taxa é de 281 (BACCHIERI *et al.*, 2011). Em 2018, foram registrados 18.239 acidentes nas rodovias federais brasileiras com o envolvimento de pelo menos um caminhão, conforme dados apontados pela Confederação Nacional de Transportes. Ainda que trafegue conjuntamente com outros tipos de veículos nas rodovias, os motoristas de caminhões estão expostos a um risco maior de se envolverem em um acidente de maior gravidade (CNT, 2019a).

Destaca-se ainda que a Associação Brasileira de Logística e Transporte de Carga (ABTC, 2009 apud SILVA, 2011) complementa que o Transporte Rodoviário de Cargas (TRC), quando comparado às demais atividades econômicas, corresponde a 15% dos óbitos e 7% dos casos de invalidez permanente nas rodovias. Por outro lado, ainda existe um alto prejuízo econômico causado aos cofres públicos pelos acidentes nas estradas no Brasil, o valor aproxima-se R\$ 28 bilhões de reais, segundo informações registradas pelo DENATRAN (ABTC, 2009 apud SILVA, 2011). Sabe-se que muitos fatores, incluindo a geometria da estrada, as condições do tráfego, as condições da estrada e do ambiente, as características do motorista e

U\$ 40 bilhões por ano) caso combinações de veículos fossem permitidas em mais estradas americanas (SAMUEL *et al.*, 2002).

do veículo, afetam a frequência e a gravidade dos acidentes. Alguns trabalhos notaram também diferenças na gravidade dos acidentes entre locais rurais e urbanos (LEE & MANNERING, 2002).

Acidentes com veículos de carga precisam ser mais estudados pois, geralmente, terminam em graves consequências ocasionando um número elevado de vítimas e danos econômicos importantes, uma vez que a tendência no transporte rodoviário de longas distância são veículos maiores e mais robustos. Outro agravante são os danos ambientais que podem ocorrer pelo derramamento da carga, pois muitos veículos transportam produtos classificados como perigosos ou tóxicos.

3 Estudos e Métodos de análise de acidentes de trânsito

A NBR ISO 31000 (ABNT, 2018) conceitua risco como o efeito da incerteza nos objetivos. Pode ser positivo, negativo ou ambos, e pode criar ou resultar em oportunidades e ameaças. Risco é normalmente expresso em termos de fontes de risco, eventos potenciais, suas consequências e suas probabilidades. Desta forma, atribui-se como risco a probabilidade da ocorrência de algum evento indesejável.

Acidente, por sua vez, para o IPEA (2006) é entendida como:

“[...] é um evento independente e não intencional do desejo do homem, causado por uma força externa, alheia, que atua subitamente (de forma inesperada) e deixa ferimentos no corpo e na mente.” (IPEA, 2006, p. 24)

Em relação a sua frequência, os acidentes de trânsito são conceituados também como riscos para estudos epidemiológicos. A Política Nacional de Redução da Morbimortalidade por Acidentes e Violências, do Ministério da Saúde (2001), conceitua acidente como:

“[...] acidente é entendido como o evento não intencional e evitável, causador de lesões físicas e ou emocionais no âmbito doméstico ou nos outros ambientes sociais, como o do trabalho, do trânsito, da escola, de esportes e o de lazer” (BRASIL, 2001, p. 3).

Já de acordo com a ABNT NBR 10697 (ABNT, 1989), acidente de trânsito tem a seguinte definição:

“Todo evento não premeditado de que resulte dano em veículo ou na sua carga e/ou lesões em pessoas e/ou animais, em que pelo menos uma das partes está em movimento nas vias terrestres ou áreas abertas ao público. Pode originar-se, terminar ou envolver veículo parcialmente na via pública.” (ABNT, 1989, p. 1),

A mesma norma (ABNT, 1989, p. 4) classifica os acidentes de trânsito:

- Quanto à natureza ou maneira como ocorreram:

Atropelamento, capotamento, choque, colisão frontal, colisão lateral, colisão transversal, colisão traseira, engavetamento, queda, tombamento ou outros acidentes de trânsito;

- De acordo com os ferimentos recebidos pela vítima de acidente de trânsito, no momento ou até 30 dias após, em:
 - a) vítima fatal de acidente de trânsito;
 - b) vítima de acidente de trânsito de natureza grave;
 - c) vítima de acidente de trânsito com ferimentos de natureza leve.

Quando um acidente ocorre, inúmeros aspectos podem ter uma relação com esse acontecimento, e às vezes, aliado a circunstâncias aleatórias que conseguem ser compreendidas apenas após a ocorrência. Essas características dificultam o desenvolvimento de estudos e análises técnicas exatas. Contribuintes de risco podem ocorrer isolados ou simultaneamente. Sincronia essa que reproduz cenários de alto risco, originando acidentes graves (CNT, 2018). Em geral, os acidentes ocorrem devido a um ou mais fatores, e a eliminação ou redução de qualquer um desses pode reduzir consideravelmente a ocorrência ou a gravidade do acidente. Identificar esses fatores pode também auxiliar a criação de políticas adequadas de prevenção de acidentes que tornem as rodovias mais seguras (CNT, 2019b).

Algumas normas e estudos procuram subdividir e classificar os fatores geradores de acidentes. Por mais que existam diferenças pontuais entre um estudo ou outro, (inclusão de fatores emocionais, sociais, ambientais, presença animais, etc.) a anatomia de um acidente de trânsito, ou seja, seus elementos, compreendem basicamente em (ABNT, 1989; IPEA, 2006):

- Fator humano (motorista e/ou pedestre) - Comportamento, educação e preparo do cidadão para o trânsito, suas condições físicas e psicológicas e sua capacidade de julgamento;
- Fator veículo - Condições mecânica, de manutenção e desempenho do veículo e equipamentos integrantes (de segurança, conservação estabilidade e fabricação);

- Fator via – Características de engenharia, incluindo aspectos da geometria, infraestrutura, sinalização, regulamentação e uso da via, bem como qualidade da pavimentação e condições de tráfego;
- Fator ambiente – Condições climáticas, de tempo e de visibilidade, e aspectos como o uso e ocupação do solo e interferências externas.

Em publicação da CNT (2018), a instituição adiciona também outros dois fatores contribuintes no cenário acidental, conforme exposto na Figura 4. A partir do documento, passam a ser considerados também os Fatores Institucional/Social, concernentes à regulamentação e policiamento (fiscalização), e os socioeconômicos, que refletem no aumento do fluxo de veículos, modo de direção e taxa de ocupação urbana.

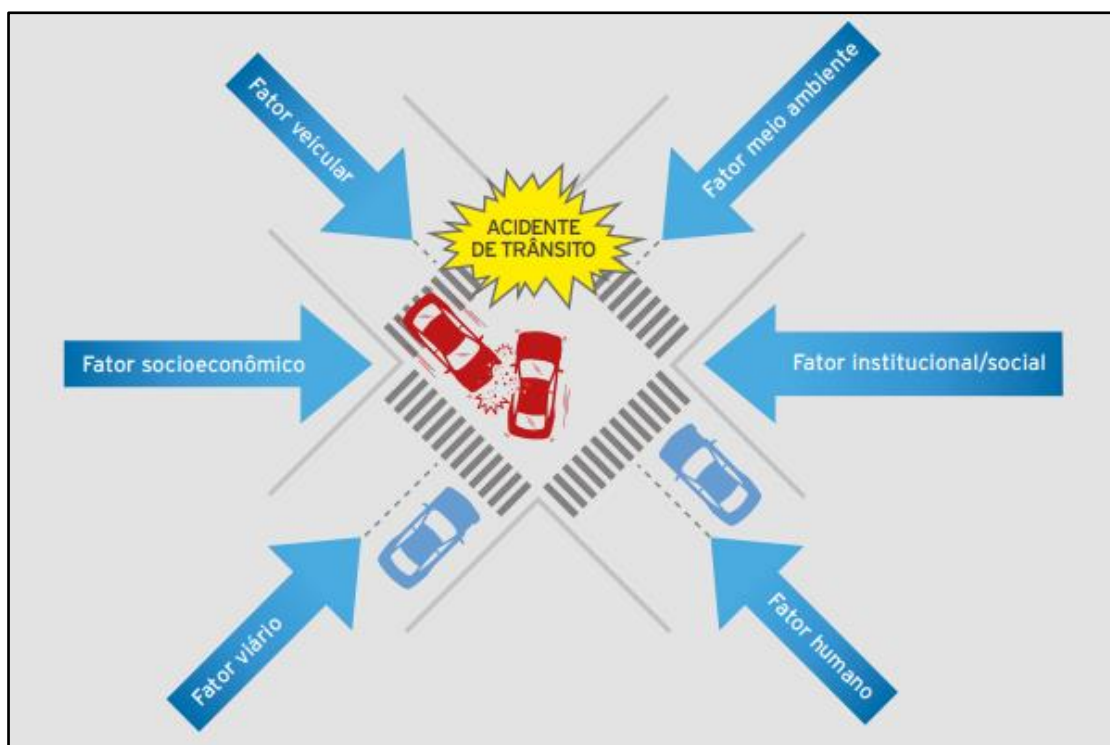


Figura 4: Fatores Contribuintes no acidente de trânsito.
Fonte: CNT, 2018.

Estudos apresentam que análises dos acidentes rodoviários se subdividem, fundamentalmente, em um conjunto de etapas de: a) 'Levantamento e organização

de dados'; b) 'Identificação de locais críticos'; c) 'Investigação de causas/soluções prováveis'; d) 'Recomendações de projetos de engenharia'; e) 'Intervenção e monitoração local' (GOLD, 1998; BRASIL, 2002).

A etapa de 'Levantamento e organização de dados', segundo BRANDÃO (2006), deve se fundamentar nos registros de acidentes realizados pela Polícia Militar do Estado, através do Boletim de Ocorrência de Acidentes (BO). Entretanto ainda há falta de padronização e estruturação dos dados entre estados da federação, muitos os fazendo ainda manualmente e sem registro em bancos de dados. Alguns órgãos gestores de tráfego e trânsito não abordam, em seus relatórios, as informações a respeito dos fatores contribuintes para os acidentes de trânsito (SCHMITZ, 2011). As diferenças de estrutura existentes entre os boletins de acidentes de trânsito nas rodovias federais (disponibilizados pelo Departamento da Polícia Federal na seção de Dados Abertos do seu site⁷) refletem um processo de melhoria contínua, não somente na evolução do seu conteúdo, bem como na forma de coleta e registro dos dados. Esses registros, ficam disponíveis em formato de planilhas de Excel, cobrem a totalidade dos acidentes ocorridos nas rodovias federais policiadas, que correspondem a mais de 90% de todo o tráfego das mesmas. Ainda possuindo alguma carência na qualidade de informações, salienta-se a existência e indicação de coordenadas geográficas (latitude e longitude) que contribuem para a identificação mais aproximada dos locais dos acidentes (IPEA, 2006).

A 'Identificação de locais críticos' é uma forma de se estabelecer uma política de melhoramento dos níveis de segurança da rede rodoviária, estabelecendo prioridades. Além do mais, estudos sobre a relação da via e meio ambiente podem ser utilizados como referência para a reestruturação de normas de projetos de segurança, sinalização e engenharia rodoviária (DNIT, 2009). As metodologias de identificação de locais críticos de acidentes de trânsito são de fundamental

⁷ <https://portal.prf.gov.br/dados-abertos>

importância, juntamente com a escolha dos métodos mais adequados para a eficácia dos estudos.

As técnicas existentes para análise, redução e prevenção de acidentes de trânsito disponíveis na literatura apresentam procedimentos semelhantes entre si, ainda sendo mais comuns os programas de tratamento de pontos críticos e programas de aplicação de soluções típicas (iluminação, sinalização, semáforos em travessias de pedestres, redutores de velocidade, etc.). De acordo com CONTRAN nº180 /2005 (2005, p. 7) – Trecho Crítico é “o segmento onde é necessário praticar velocidade reduzida”.

Consideram-se segmentos críticos aqueles sobre a rede de vias que apresentam médias de acidentes iguais ou superiores a uma referência pré-estabelecida. Ou que estejam associados a níveis de segurança viária que coloquem em risco os usuários do sistema viário (sejam motoristas ou pedestres). As sistemáticas de identificação mais utilizadas consistem no fato dos acidentes, apesar de sua ampla distribuição espacial, tendem a agrupar-se em determinados locais da malha viária. As metodologias mais amplamente difundidas encontradas na literatura são, de modo geral, classificadas em numéricas, estatísticas, técnicas do conflito, e auditoria de segurança viária (BRASIL, 2002; MARTINEZ & LOPES, 2010).

3.1 Métodos Numéricos

Dos métodos disponíveis, os numéricos podem ser considerados os de mais fácil cálculo e aplicação para a identificação de locais perigosos. Os locais críticos são apurados a partir do cálculo da quantidade de acidentes e taxas de acidentes. São declarados como locais críticos aqueles cujos indicadores sejam maiores que um determinado valor de referência. Os métodos numéricos subdividem-se em dois grupos (BRASIL, 2002):

- a) **Absolutos** - A quantidade de acidentes é contabilizada de forma direta, sem haver correlação com outras variáveis. Neste grupo são definidas duas técnicas distintas:

Técnica do Número de Acidentes - Essa técnica considera como locais críticos aqueles com quantidade de acidentes superior à média aritmética dos acidentes registrados nos respectivos segmentos (Intersecções ou trechos das vias). Exige poucos recursos para aplicação, entretanto pode pecar na diferenciação dos acidentes relacionados a sua severidade (BRANDÃO, 2007).

Técnica da Severidade de Acidentes - Esta técnica considera a frequência e a severidade dos acidentes. É percebida como um aprimoramento da anterior, associando a cada nível de gravidade do acidente uma respectiva ponderação. Como exemplo citam-se duas metodologias, a do DENATRAN (1987) e a da CEFTRU (BRASIL, 2002), que utilizam o conceito de Unidade Padrão de Severidade (UPS) para ponderação da gravidade dos acidentes. Nesse contexto, a severidade em acidentes para um local em estudo poderá ser expressa em UPS, conforme se segue:

$$\text{DENATRAN (1987)} \longrightarrow \text{UPS} = (\text{Acidentes sem vítimas} \times 1) + (\text{Acidentes com vítimas não fatais} \times 5) + (\text{Acidentes fatais} \times 13)$$

$$\text{CEFTRU (BRASIL, 2002)}^8 \longrightarrow \text{UPS} = (\text{Acidentes sem feridos} \times 1) + (\text{Acidentes com feridos} \times 4) + (\text{Acidentes com feridos pedestres} \times 6) + (\text{Acidentes fatais} \times 13)$$

⁸ O CEFTRU (2002) utiliza acidentes com pedestres na equação, isso foi destacado para fins de apropriações econômicas, uma vez que os traumas sofridos pelas vítimas de atropelamento são, em média, mais severos que os das vítimas que estão no interior dos veículos, o que implica, consequentemente, do tratamento mais dispendioso.

- b) **Relativos** – A quantidade de acidentes também é contabilizada, porém dentro de um universo de possibilidades, levando em consideração uma taxa de riscos (frequência de acidentes em relação ao volume de tráfego) e/ou as tendências (incremento temporal na frequência de acidentes) para o local em estudo. Neste grupo destacam-se duas técnicas:

Técnica da Taxa de Acidente - A quantidade de acidentes de trânsito é relacionada com o volume de tráfego do respectivo local. Como elevados volumes de tráfego, genericamente, tendem também a possuir maior número de acidentes. Essa técnica surge como forma de coibir influência do volume de veículos no resultado. As taxas de acidentes podem ser expressas em acidentes por milhões de veículos x km que trafega em um trecho de via, no caso de intersecções o método retira a extensão do trecho do cálculo. Tal metodologia é utilizada pelo DNER (1986) e também por PLINE (1992), sendo que neste último é complementarmente utilizada a variável de custos do acidente.

Técnica da Taxa de Severidade – É considerada uma combinação das duas últimas técnicas mencionadas, a variável de quantidade de acidentes é expressa em UPS, e relacionada com o volume de tráfego no local. As taxas de severidade podem ser expressas em UPS por milhões de veículos x km que trafegam em um trecho de via, ou, como antes, no caso de intersecções o método retira a extensão do trecho do cálculo. Em relação à expressão da Técnica da Taxa de Acidentes, substitui-se o número de acidentes pelo UPS (BRASIL, 2002).

3.2 Métodos Estatísticos

Os métodos estatísticos envolvem a utilização de modelos matemáticos probabilísticos e testes de significância estatística para determinar locais de maior risco de acidentes. Existem diversos métodos, dos mais simples aos mais multifacetados, permitindo-se avaliar estatisticamente as mais complexas

interações espaciais, de estradas, geometria, características do motorista, fatores ambientais, características do veículo e localização do acidente (KHORASHADI *et al.*, 2005). O segmento estatístico que este trabalho tem como propósito utilizar são os de análises espaciais, com significância estatística, e serão abordados com mais detalhes no próximo capítulo.

3.3 Método de Conflitos

Um conflito de tráfego pode ser definido como um evento que envolve dois ou mais usuários da via, em qual a ação de um deles faz com que o outro faça uma manobra evasiva para evitar uma colisão. Geralmente, os usuários da estrada são motoristas, mas a definição também inclui pedestres e ciclistas. Independentemente do método pelo qual os conflitos de tráfego sejam registrados, a abordagem oferece aos analistas de segurança no trânsito uma oportunidade de observar um grande número de interações inseguras do veículo (potenciais colisões), a fim de identificar o fator que leva ao comportamento (PARKER *et al.*, 1989).

A técnica permite identificar futuros potenciais locais críticos, onde não houve ainda registros de acidentes. Essa metodologia foi inicialmente apresentada no “Traffic Conflict Techniques for Safety and Operations” publicado pela Federal Highway Administration – FHWA em 1989. E, também, com complementação de outras discussões e análises, publicada na Nota Técnica NR 210 da Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo – CET (MING, 2001).

Um estudo do DNIT (2009), em conjunto com a UFSC, enumera as vantagens da utilização do método de Conflitos:

- Ao contrário dos dados de acidentes, que levam longo tempo para serem acumulados, os conflitos são eventos de observação direta;
- Um estudo de conflitos pode ser feito imediatamente sem que seja necessário esperar que os acidentes ocorram;
- Em geral, os dados de acidentes não revelam nenhuma informação que possa indicar a provável causa do acidente, [...], por não estar disponível o correspondente diagrama de colisão. Já o estudo de conflitos é extremamente útil para diagnosticar problemas operacionais ou de segurança específicos através do qual é possível indicar o melhor tratamento. DNIT (2009, p. 21),

Entretanto, as pesquisas de campo exigem consideráveis recursos humanos e/ou tecnológicos, não sendo prático conduzir estudos de conflito. A análise automatizada de câmera de vídeo tem sido particularmente útil na coleta de dados de conflito, por meio de observadores de campo e também modelos de simulação. Esses recursos tem suas limitações e custos. Os modelos, por exemplo, não representam comportamentos diversos e menos previsíveis de motoristas que existem em tempo real no trânsito (EL-BASYOUNY & SAYED, 2013).

3.4 Auditoria de segurança

O conceito de Auditoria de Segurança pode ser definido como um processo formal de verificações sistemáticas da segurança em trechos rodoviários. Fundamenta-se na ação preventiva de verificação de fatores de risco em vias já existentes, recém inauguradas ou até em fase de projeto. As auditorias devem ser realizadas por uma equipe independente, cujos membros devem possuir conhecimentos suficientes nas áreas de projeto de estradas, engenharia de tráfego e comportamento dos motoristas. Dada a importância dos fatores humanos para a segurança rodoviária, as diretrizes de projeto devem garantir uma abordagem mais voltada para as características do usuário da estrada, particularmente no que diz respeito a (KANELL Aidis & Vardaki, 2011):

(1) o efeito do projeto da rodovia no comportamento do motorista;

(2) variabilidade do comportamento do motorista entre diferentes tipos de usuário.

4 Sistemas de Informações Geográficas e Análises Espaciais

4.1 SIG

4.1.1 Conceito e arquitetura de um SIG

Na segunda metade do século passado, com o desenvolvimento da informática, tornou-se possível armazenar e representar informações geográficas em ambiente computacional, abrindo espaço para o surgimento das aplicações de geoprocessamento (CÂMARA *et al.*, 2004c). O objetivo dessas aplicações é oferecer respostas a questionamentos, permitindo uma melhor compreensão das variáveis dentro de um espaço geográfico. Das atividades vinculadas ao geoprocessamento, estão os Sistemas de Informação Geográfica (ou SIG), a Cartografia Digital, o Sensoriamento Remoto e a Análise Espacial de Dados (JUNIOR, 2008).

A história da tecnologia em sistemas de informações geográficas está relacionada, desde o surgimento da humanidade, à evolução das metodologias de criação e utilização de mapas. Atualmente, a necessidade consiste em organizar informações do espaço geográfico considerando objetivos governamentais, militares, registro de propriedades de terra, de gestão do uso e ocupação do solo e de circulação e transportes (NOGUEIRA, 2008).

Um SIG pode ser definido como um sistema computacional para gerenciar dados espaciais. A palavra “sistema” implica que um SIG é composto de vários componentes inter-relacionados e vinculados com funções diferentes. A palavra “geográfica” implica que os dados de localização dos itens são conhecidas ou podem ser calculadas em termos de coordenadas geográficas (latitude, longitude). A palavra “informação” implica que os dados em um SIG são organizados para gerar conhecimento útil, geralmente como mapas e imagens coloridas, mas também como gráficos, estatísticas, tabelas e várias dados para consultas interativas. Assim, um SIG possui recursos funcionais para captura, entrada, manipulação, transformação, visualização, combinação, consulta, análise, modelagem e saída de dados (BONHAM-CARTER, 1994).

Os SIG são projetados para agregar dados espaciais de diversas fontes em um banco de dados, normalmente utilizando estruturas de dados digitais e representando fenômenos espacialmente variáveis como uma série de camadas de dados (chamados também de *layers*). É feito o tratamento computacional dos dados geográficos e os respectivos atributos desses dados georreferenciados, ou seja, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica (CÂMARA *et al.*, 2004b).

Câmara *et al.* (2004c) indicam que um SIG tem, de forma abrangente, os seguintes elementos:

- Interface com Usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de processamento gráfico e de imagens;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob forma de um banco de dados geográficos). (CÂMARA *et al.*, 2004c, p. 7)

Esses elementos, representados na Figura 5, relacionam-se de forma hierárquica. A ‘Interface’ com usuário define como o sistema é operado e gerenciado. No segundo nível, estão os mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada, processamento, visualização e saída). Por último, um banco de dados geográficos armazena e recupera os dados espaciais (CÂMARA *et al.*, 2004b). Cada sistema, em função de seus objetivos e necessidades, implementa estes elementos de forma distinta, entretanto, os subsistemas estão, de uma ou outra forma, presentes em um SIG (CÂMARA *et al.*, 2004b).

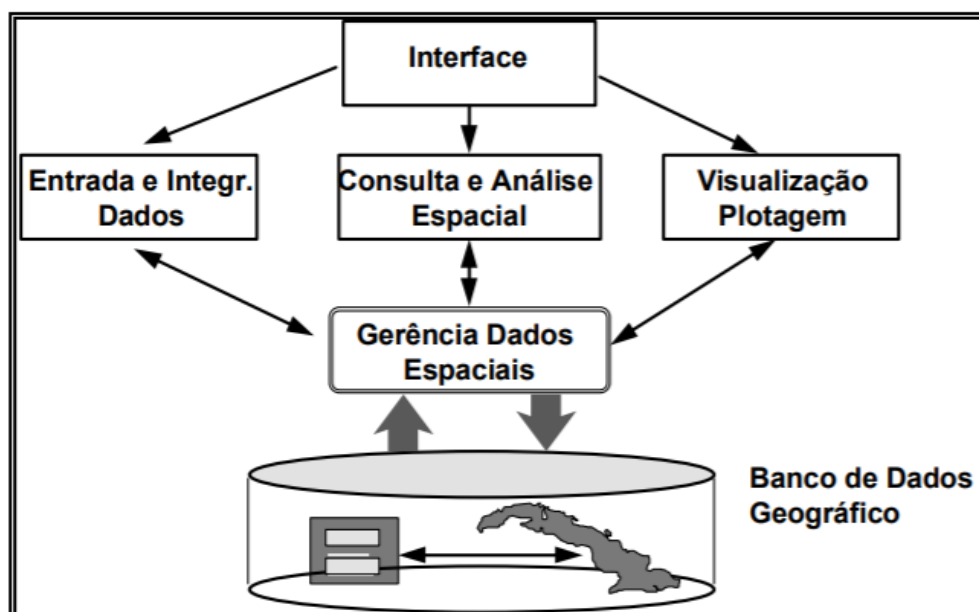


Figura 5: Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica.
Fonte: CÂMARA et al., 2004b.

Sobre bancos de dados geográficos, Câmara *et al.*, (2004a) destacam a existência de diferentes tipologias organizacionais. Entre elas, o modelo georrelacional (arquitetura dual) apoia-se sobre um ambiente que promove o gerenciamento do banco de dados geográfico (como o DBASE ou ACCESS). Desta maneira, torna-se possível o armazenamento de informações tabelares que passam a compor o que se entende por atributos dos dados geográficos, bem como as expressões gráficas (geométricas) destes mesmos dados. Uma das aplicações básicas dos SIGs é que, para cada objeto geográfico, é feito o armazenamento da geometria dos dados, atributos e representações gráficas associadas aos mesmos (Câmara *et al.*, 2004a).

Essas características permitem aos SIGs ter um rol de aplicações, em diversas áreas da ciência, como agricultura, florestal, cartografia, cadastros urbanos e redes de serviço público (água, energia e telefonia). Havendo, pelo menos, três grandes maneiras de utilizar um SIG (CÂMARA *et al.*, 2004b):

- Para produção de mapas;
- Análise espacial de fenômenos;
- Como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

4.1.2 Planos de Informação

Apesar do exposto, um elemento importante que se inscreve sobre o funcionamento de um SIG, refere-se à organização dos dados geográficos. Destaca-se que tal organização em ambiente SIG é feita a partir da sobreposição de camadas. Tal sobreposição, por sua vez, torna-se possível a partir do momento em que os conjuntos de dados geográficos se encontram georreferenciados. Desta forma, as diferentes camadas (*layers*) permitem lidar com planos de informação das mais diversas origens possibilitando ao usuário realizar análises, criar e editar mapas a partir de dados de diferentes fontes (Figura 6).

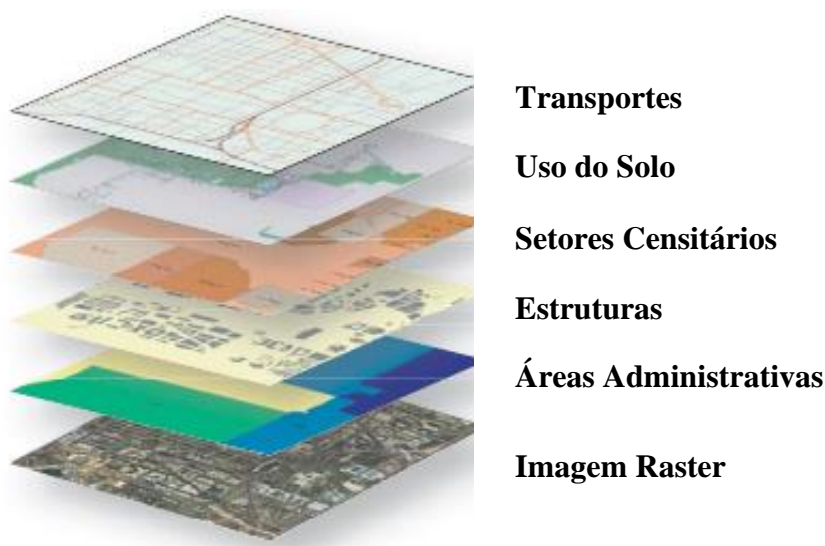


Figura 6: Exemplo de integração de dados e camadas.
Fonte: Adaptado de ESRI, 2004.

4.1.3 Estruturas de representação de dados espaciais

Dados espaciais são considerados aqueles que podem ser, espacialmente e graficamente, representados. Suas estruturas de representação podem ocorrer de duas formas: geométricas e não geométricas. Segundo Piroli (2010, p. 29) as estruturas são geométricas “quando descrevem atributos de um elemento relativos à posição, vizinhança e conexão com outros elementos”, enquanto que as não geométricas “descrevem atributos com características não geométricas entre os

elementos, como nome, população, e atividade econômica”. As geométricas se dividem em dois modelos de dados para a representação das informações geográficas, vetorial e raster. Em ambos, os atributos das entidades espaciais podem ser temáticos ou numéricos, podendo possuir dados qualitativos ou quantitativos (ROCHA, 2000).

a) Raster ou matricial

Representa dados espaciais, como *pixels*, em uma matriz bidimensional, como uma rede com linhas verticais e horizontais. Esses *pixels* possuem dimensões iguais que definem sua resolução, possuem um par de coordenadas geográficas e um valor associado, que pode indicar um atributo (escala de cinza é muito utilizada). É o modelo habitual nas imagens de satélite, fotografias digitais e mapas digitalizados (Figura 7). Entre as vantagens do Raster, apontam-se sua fácil interpretação, execução rápida de operações entre camadas e melhor representação de variações espaciais. Suas desvantagens consistem no fato de que sua precisão depende da resolução, as bordas das estruturas podem ficar irregulares (efeito serrilhado), dificuldade de representação para padrões lineares (como rios e estradas), ocupar grandes volumes de memória e muitas vezes a qualidade dos mapas finais é, visualmente, inferior àquela dos mapas vetoriais (FITZ, 2008; PIROLI, 2010).

b) Vetoriais

Estas estruturas são baseadas em três modelos gráficos: pontos, linhas e polígonos. Os pontos são entidades geográficas que podem ser representadas por apenas um par de coordenadas, enquanto que linhas e polígonos são representados por conjunto de pares de coordenadas. Cada um desses elementos, além das coordenadas, pode possuir atributos associados em sua tabela de dados. Por exemplo, pontos de acidentes de trânsito (com dados do veículo, condições da pista e severidade), linhas como curvas de nível e polígonos para uso de loteamento urbano (Figura 7). Ao contrário do raster, tem operações entre camadas de forma mais complexa e demorada, entretanto realiza cálculos de distância e área de maneira simplificada e com processamento mais rápido (FITZ, 2008; PIROLI, 2010).

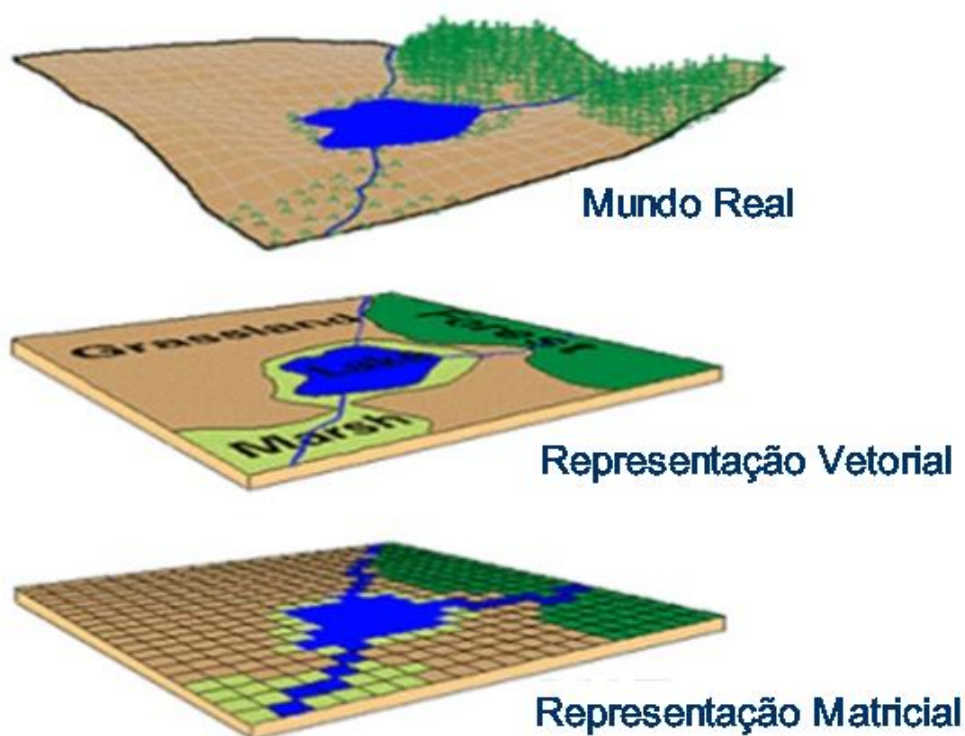


Figura 7: Comparativo entre representação Vetorial e Matricial (raster).
 Fonte: adaptado de CAVALCANTE, 2005.

4.2 Análises espaciais

O entendimento de fenômenos, no ponto de vista da sua distribuição espacial, constitui-se de desafio para a explicação de questões fundamentais nas mais diversas áreas de conhecimento. Estudos e análises, com o viés espacial, vêm se tornando cada vez mais comuns, por mérito da disponibilidade de SIGs de baixo custo e com interfaces de fácil interpretação. Muitos dados de uso comum, tais como os dados censitários, possuem uma referência espacial que pode ser analisada estatisticamente. Entretanto, característica fundamental da análise espacial é o uso da referência geográfica no processo de coleta, processamento, análise e descrição dos dados (CÂMARA *et al.*, 2004a, p. 1).

Sabe-se que muitas das análises geográficas tradicionais não conseguem tirar proveito dos recursos de visualização e manipulação de um SIG moderno. Ou seja, a maioria das estatísticas espaciais, como testes de autocorrelação e regressão

espacial, são de natureza essencialmente estática, permitindo apenas interação entre os dados, os modelos e o analista. Por outro lado, abordagens dinâmicas e interativas para análise de dados enfatizam interação do usuário com os dados em um ambiente gráfico, permitindo manipulação na forma de seleção instantânea, exclusão, edição, rotação e outras transformações de dados para ajudar na exploração da estrutura e descoberta de padrões (ANSELIN, 1996).

As análises espaciais reconhecem que todos os locais têm um grau intrínseco de singularidade devido a sua posição em relação ao restante do sistema espacial. Em consonância com essa afirmação, existe difundida a Lei de Tobler (1970), também conhecida como primeira lei da geografia: “Invoco a primeira lei da geografia: tudo está relacionado a todo o resto, mas coisas próximas são mais relacionadas do que coisas distantes”. (MILLER, 2004, p. 284, tradução⁹ do autor).

Um SIG é capaz de apresentar um mapa colorido e dinâmico, possibilitando a visualização do padrão espacial de fenômenos, a partir de um banco de dados e de uma base geográfica (como um mapa de uma região). O âmago da análise espacial é possibilitar estimar propriedades, fenômenos e relacionamentos entre estruturas geográficas a partir do posicionamento espacial. Um importante conceito para o estudo dos fenômenos espaciais é a Dependência Espacial (a expressão computacional do conceito de dependência espacial é a *autocorrelação espacial*), integrada com a já citada Lei de Tobler, sobre esse termo Câmara *et al.* (2004a) cita:

“Essa noção parte do que se convencionou chamar de primeira lei da geografia: ‘todas as coisas são parecidas, mas coisas mais próximas se parecem mais que coisas mais distantes’. A dependência espacial está presente em todas as direções e fica mais fraca à medida em que aumenta a dispersão dos dados” Câmara *et al.* (2004a, p. 11).

⁹ “I invoke the first law of geography: everything is related to everything else, but near things are more related than distant things” (TOBLER, 1970, p. 236).

As ferramentas de análise espacial podem ser divididas em seleção, manipulação, análise exploratória e análise confirmatória (Figura 8) (ANSELIN, 1992; 1996).

- Seleção é a escolha e amostragem de unidades observacionais de bancos de dados, com resultados e procedimentos de amostragens, além de apresentar resultados gráficos, apresentando estatística simples;
- Manipulação de dados abrange os procedimentos de disposição, agregação, sobreposição e interpolação necessários para criar dados espaciais, geração de áreas de influência e sobreposição de camadas;
- Análises Exploratórias buscam descrever distribuições espaciais globais e locais, descobrir padrões de associação espacial (*clusters*), sugerir instabilidades espaciais e identificar situações atípicas (*outliers*). Para Haining *et al.* (1998) as análises exploratórias são métodos descritivos, com o objetivo de detectar e avaliar padrões e modelos espaciais, sendo mais simples e intuitivos que os métodos estatísticos tradicionais.
- Análises Confirmatórias tem como ponto de partida um modelo teórico, aonde estão muitas das técnicas "tradicionais" de análise de dados espaciais, como testes de hipóteses, modelagem, autorregressão, validação, necessários à implantação de análises multivariadas com os componentes espaciais.

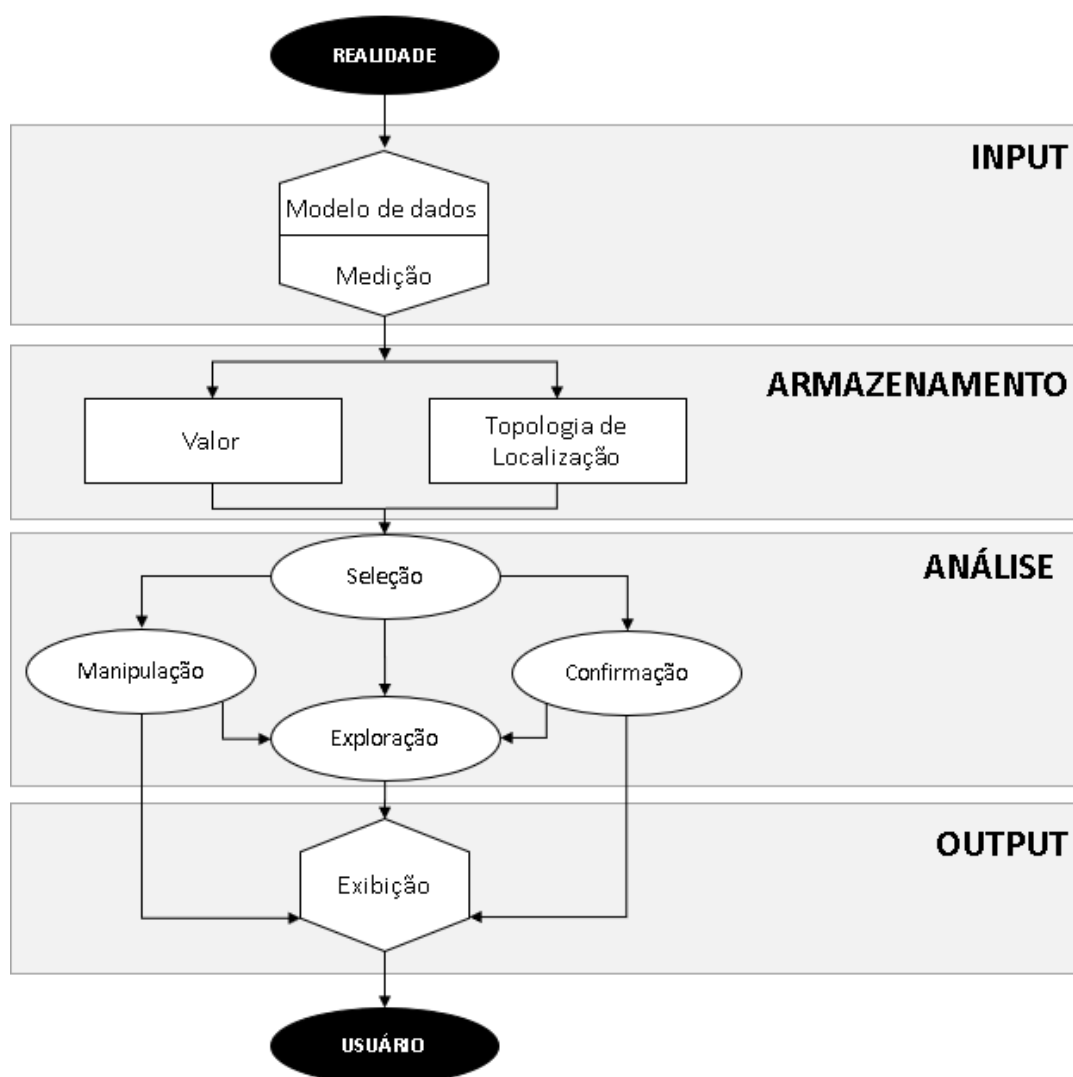


Figura 8: Quatro funções básicas de um SIG.
 Fonte: Anselin (1992). Tradução do autor.

Não obstante, a diferenciação entre os tipos de análise é cada vez menos perceptível, tendo em vista que muitos softwares estatísticos agora possuem alguma forma de funcionalidade de mapeamento e um crescente número de funções estatísticas espaciais incluídas num software SIG (ANSELIN, 1992). Neste sentido, entende-se que a análise espacial é usada para especificar geograficamente os locais onde ocorreram fenômenos de interesse e avaliar padrões específicos de distribuição através da visualização de mapas. As técnicas de análise espacial em SIG mais usadas na literatura para analisar acidentes de trânsito, de acordo com Satria e Castro (2016), são:

- KDE

A estimativa de densidade de Kernel (Kernel Density Estimation - KDE) é uma das análises de dados espaciais mais comumente utilizadas em SIGs modernos. Essa análise produz uma varredura como forma de análise de densidade de determinados pontos ou linhas (representação vetorial), resultado em uma representação matricial de densidade) raster. A propagação do risco pode ser definida como a área ao redor do *cluster*, aonde esse risco pode aumentar devido a um acidente. Erdogan *et al.* (2008) utilizaram o SIG como um sistema de gestão para análise de acidentes de trânsito e determinação de pontos críticos com análise estatística (KDE e Poisson).

Existem muitas vantagens no uso da Densidade de Kernel (KDE) em oposição a técnicas estatística comuns. Além de ter uma visualização simples, o método consiste em determinar a propagação dos riscos de um acidente, sendo que ao definir um *cluster* estatístico, pode-se estar ignorando a área de influência (*buffer*) ao seu redor, o que em última análise, possuem um grau de risco de acidente para as pessoas que o inserem. Como desvantagem principal evidencia-se que a funcionalidade não possui significância estatística (ANDERSON, 2007; DABALO, 2020).

O KDE tem sido amplamente utilizado para acidentes rodoviários, pela sua simplicidade e facilidade de compreensão. Além dos trabalhos já citados, pode-se destacar também os dos autores: Xie & Yan (2008), Jayan & Ganeshkumar (2010), Prasannakumar *et al.* (2011), Choudhary *et al.* (2015), Shafabakhsh *et al.* (2017) e Le *et al.* (2019).

- Índice de Moran (I) Global

É uma ferramenta estatística que pode ser utilizada para medir a autocorrelação espacial dos locais de acidentes (pontos) (MORAN, 1948). O Índice também avalia se os agrupamentos de padrões espaciais estão dispersos ou aleatórios e também determina o nível de agregação ou *clusterização*. O ‘Índice de Moran (I) Global’ fornece um valor único da correlação espacial e verifica o agrupamento dos padrões espaciais (ERDOGAN, 2009). Pirdavani *et al.* (2014) desenvolveram modelos de previsão de acidentes utilizando Regressão

Geograficamente Ponderada (GWR), aonde se aplicou o Índice de Moran para variáveis explicativas dependentes e selecionadas. O resultado revelou a necessidade e aplicabilidade de considerar a correlação espacial ao desenvolver modelos de previsão de colisão de veículos.

- Índice de Moran (I) Local

Além da autocorrelação global, os índices locais são úteis para apontar a contribuição de partes menores da área investigada. O ‘Índice de Moran (I) local’ examina locais individuais, permitindo identificar pontos de acesso com base em uma comparação com as amostras vizinhas. Cada localização é caracterizada por um valor do índice que denota a contribuição individual da localização na medida de autocorrelação global (MOONS *et al.*, 2009).

Anselin (1995) propôs a estatística do Índice de Moran Local para testar a dependência espacial local e detectar objetos espaciais com influência no índice de Moran Global e definiu que um Indicador Local de Associação Espacial (*Local Indicator of Spatial Association* - LISA) pode ser definido por qualquer estatística que satisfaça os seguintes requisitos:

- a) Cada observação fornece uma indicação da extensão de agrupamentos espaciais significativos de valores semelhantes ao redor dessa observação;
- b) A soma de LISA para todas as observações é proporcional a um indicador global de associação espacial.

O ‘Índice de Moran Local’ tem sido cada vez mais utilizado para a detecção espacial dos chamados *hotspots* ou *clusters*, estatisticamente significativos. Além disso, contribui diretamente para que se demonstrem locais com valores atípicos (*outliers*).

- Getis-Ord Gi*

Getis-Ord Gi* também é um dos índices LISA que procura áreas específicas em uma imagem que possuem agrupamentos de valores semelhantes ou diferentes. As estatísticas G possuem vários atributos que os tornam atraentes para medir a dependência de variáveis espacialmente distribuídas. Eles aprofundam o conhecimento sobre os processos que levam à autocorrelação espacial e melhoram a detecção de clusters (GETIS & ORD, 1992). Um alto valor da estatística Getis-Ord representa um grupo de alto índice (*hot spots*), enquanto um valor baixo representa um valor baixo do grupo de índices.

4.3 Estudos de acidentes de trânsito com SIG e Análises Espaciais e/ou Temporais

Embora SIGs tenham sido usados por mais de trinta anos, só recentemente começaram a ser utilizados no campo dos transportes. O desenvolvimento de sistemas que utilizam SIG para analisar acidentes de trânsito tem sido buscado no sentido de melhorar a eficiência e a eficácia das contramedidas de acidentes de trânsito. Além disso, o SIG torna a análise menos demorada e mais interativa, assim como oferece uma plataforma para manter e atualizar o banco de dados de registros de acidentes e usá-lo para análises futuras (JAYAN & GANESHKUMAR, 2010).

Apesar de os acidentes serem aleatórios e imprevisíveis no nível micro, os modelos estatísticos e análises espaciais podem prever estimativas confiáveis de previsão de acidentes, relacionando dados compilados de acidentes a diversos fatores intrínsecos e extrínsecos (GUNDOGDU, 2010).

Ahmadi *et al.* (2017) desenvolveram um estudo para especificar as capacidades de um SIG no gerenciamento de informações de acidentes de trânsito. Os recursos de SIGs foram categorizados em dez grupos:

- 1) Recursos para salvar e recuperar dados de acidentes;
- 2) Recursos e ferramentas para análise de acidentes e “pontos negros” (*hotspots*);
- 3) Capacidades e funções de edição de acidentes;
- 4) Capacidade de usar vários bancos de dados;
- 5) Recursos de design de sistema, design de interface de usuário (UI) e design de interface gráfica de usuário;

- 6) Recursos e ferramentas de gerenciamento;
- 7) Recursos para saída e geração de relatórios;
- 8) Capacidade de análise do acesso aos cuidados de saúde e avaliação da avaliação do acesso;
- 9) Identificação da localização dos serviços de saúde;
- 10) Recursos de suporte à decisão de localização de centros de emergência, delegacias, hospitais e a eficácia desses centros.

O uso do SIG na promoção da segurança viária é visto no estudo de Soleimani & Jahani (2009) como a melhor solução para coletar, salvar e apresentar informações geográficas relacionadas a acidentes de trânsito. Os autores concluíram que os dados espaciais no SIG e o GPS podem promover uma maior segurança das estradas.

A identificação de locais carentes de segurança, auxiliadas com análises espaciais em SIG tem potencial para diminuir os acidentes de trânsito. Os relatórios de trânsito e boletins de ocorrência são muito importantes para a qualidade da análise, mas por si só não são solução do problema. As tecnologias do SIG se mostram como alternativa viável para visualização e análise de acidentes, por meio de pontos, trechos ou áreas críticas nas estradas, pois permite o cruzamento dessas informações, cálculo de frequências, taxas e escolher as melhores variáveis para estudo (ERDOGAN *et al.*, 2008).

Famili *et al.* (2018) fizeram uso do SIG com o principal objetivo de desenvolver critérios para identificar pontos de acesso para acidentes com pedestres na Carolina do Sul, de forma a subsidiar os tomadores de decisão a alocar recursos apropriadamente. Inclusive, como resultado do trabalho desenvolvido, percebeu-se que à medida que as rodovias se estendiam para fora da vizinhança de áreas urbanas, o nível de risco foi gradativamente diminuído. Esses critérios, por sua vez, possibilitaram o suporte no desenvolvimento de um “Programa de Segurança para pedestres”, como parte do programa de melhoria da segurança rodoviária da Carolina do Sul.

Em um outro viés, o trabalho de Badin *et al.* (2002) desenvolveu um protótipo em SIG para planejamento e gerenciamento de placas de sinalização viária em Joinville (Santa Catarina, Brasil). Tal protótipo intentou na atualização

de toda a sinalização de trânsito vertical e na criação de um banco de dados georreferenciados associado a cada sinalização existente e a ser implantada. A partir destas ações, tornar-se-ia possível um melhor planejamento viário do município, permitindo gerar dados estatísticos que irão contribuir sensivelmente, construindo assim, bases para uma administração eficiente.

Meinberg (2003) apresenta metodologia para modelagem e desenvolvimento de um projeto de georreferenciamento de acidentes de trânsito em Belo Horizonte (Minas Gerais, Brasil). Com o objetivo de proporcionar aos profissionais de transporte a realização de análises espaciais locais. Na pesquisa desenvolveu-se um projeto-piloto para a Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte (BHTRANS), o qual foi chamado de “Geotrans”. Por meio de rotinas de criação de mapas temáticos e interfaces desenvolvidas o programa permite, analisar o tipo de acidente (atropelamento, abalroamento, etc.), a severidade (fatal, não fatal, sem vítima, etc.), o período (dia, mês, ano, etc.) e o local (trecho, intercessões, logradouro, etc.) na cidade mineira.

Schmitz (2011), por sua vez, utilizou um software SIG para analisar espacialmente trechos críticos da rodovia BR-285, no Rio Grande do Sul. Através do SIG foram criadas várias interfaces de análise e de visualização de cenários dos dados alfanuméricos. A sobreposição das imagens de satélite, da malha viária, dos segmentos e dos pontos de acidentes de trânsito permitiram uma melhor percepção dos problemas e possibilitaram intervir a partir desse diagnóstico.

O CAVIAR apresenta-se como outro exemplo sobre a tentativa de desenvolvimento de um sistema analítico. Apresenta-se como um sistema desenvolvido para a Companhia de Engenharia de Tráfego do Rio de Janeiro (CET-RIO) com o objetivo de permitir a análise das informações de trânsito e para apoiar as atividades de planejamento do sistema viário do município do Rio de Janeiro. Suas características principais são o georreferenciamento de informações viárias urbanas (estacionamento, cálculo volumétrico, sinalização, linhas de ônibus, pontos de ônibus e de taxi, acidentes e etc.) e a possibilidade da operação descentralizada nas diversas estruturas regionais da CET-RIO. Ele utiliza dados do Corpo de Bombeiros e permite a identificação dos pontos críticos de acidentes com vítimas. Adicionalmente, o banco de dados permite georreferenciar postos de saúde,

hospitais e escolas, o que aumenta as possibilidades de análises (SOARES *et al.*, 2004).

Quando se fala de uso de análises espaciais em SIG para acidentes de trânsito a literatura ainda carece de estudos, tanto no Estado do Rio de Janeiro, quanto para veículos pesados. De antemão, verifica-se globalmente um aumento considerável deste tipo de análise e faz-se necessário que metodologias sejam testadas e pesquisadas, para que, juntamente com as especificidades locais, possam ser encontradas análises mais ajustadas.

5 Estudo de Caso: Acidentes com veículos pesados no Estado do Rio de Janeiro

5.1 Área de estudo

A área de estudo é delimitada geograficamente pelos limites do Estado do Rio de Janeiro. O estado se situa na região sudeste do Brasil e, de acordo com o IBGE (2020)¹⁰, possui uma área de cerca de 43.696,054 km². Mesmo sendo considerado o terceiro menor estado do Brasil (ficando à frente apenas de Alagoas e Sergipe), concentra cerca de 8,4% da população do país, sendo o estado com maior densidade demográfica do Brasil.

O Estado do Rio de Janeiro está dividido em 92 municípios e em oito Regiões de Governo, são elas: Metropolitana, Noroeste Fluminense, Norte Fluminense, Baixadas Litorâneas, Serrana, Centro-Sul Fluminense, Médio Paraíba e Costa Verde. O estado também possui o segundo maior PIB do país, atrás apenas de São Paulo (CEPERJ, 2019).

¹⁰ Dados disponibilizados pelo IBGE por ano: Densidade demográfica (2010); Área do território (2019).

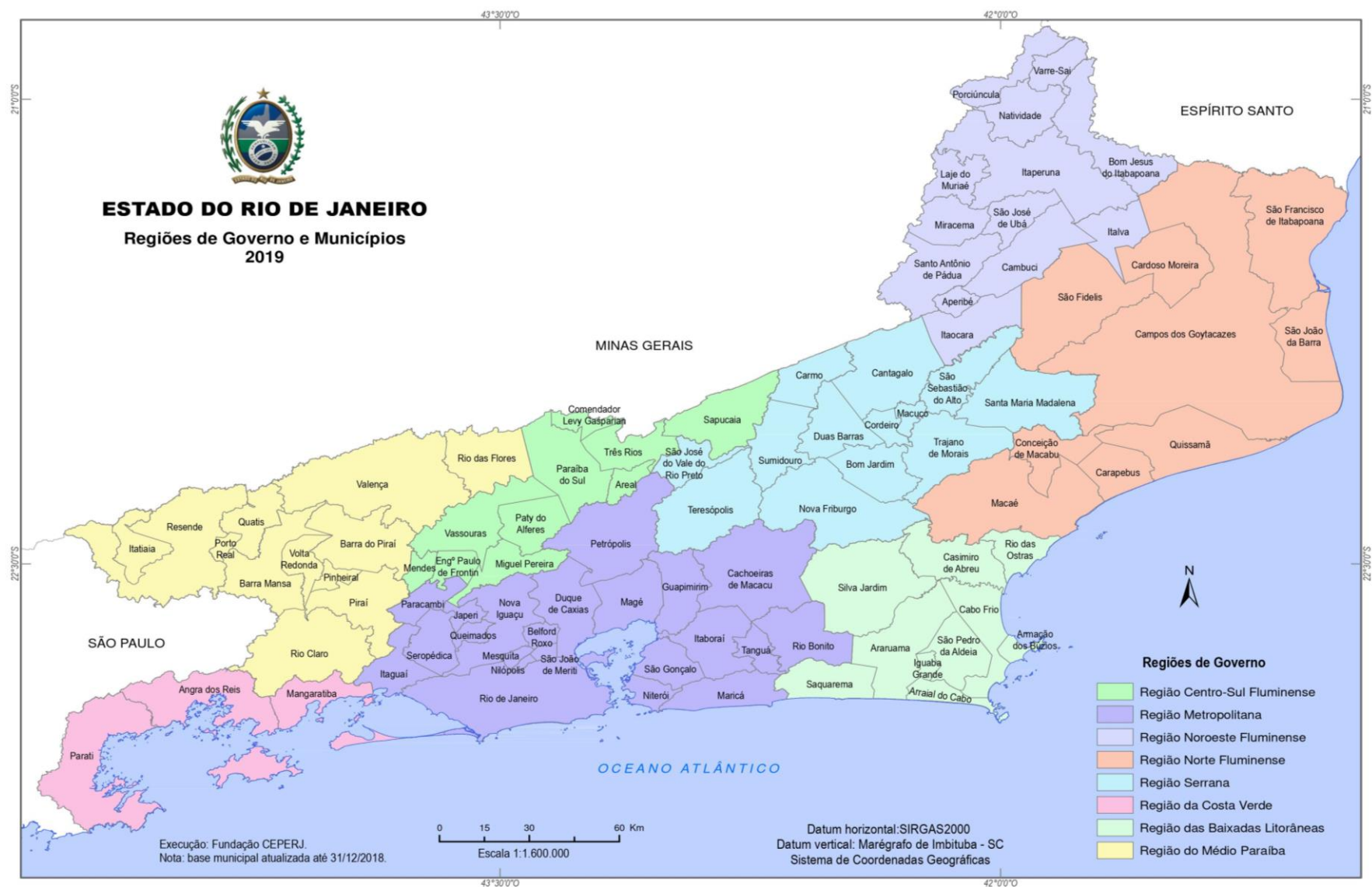


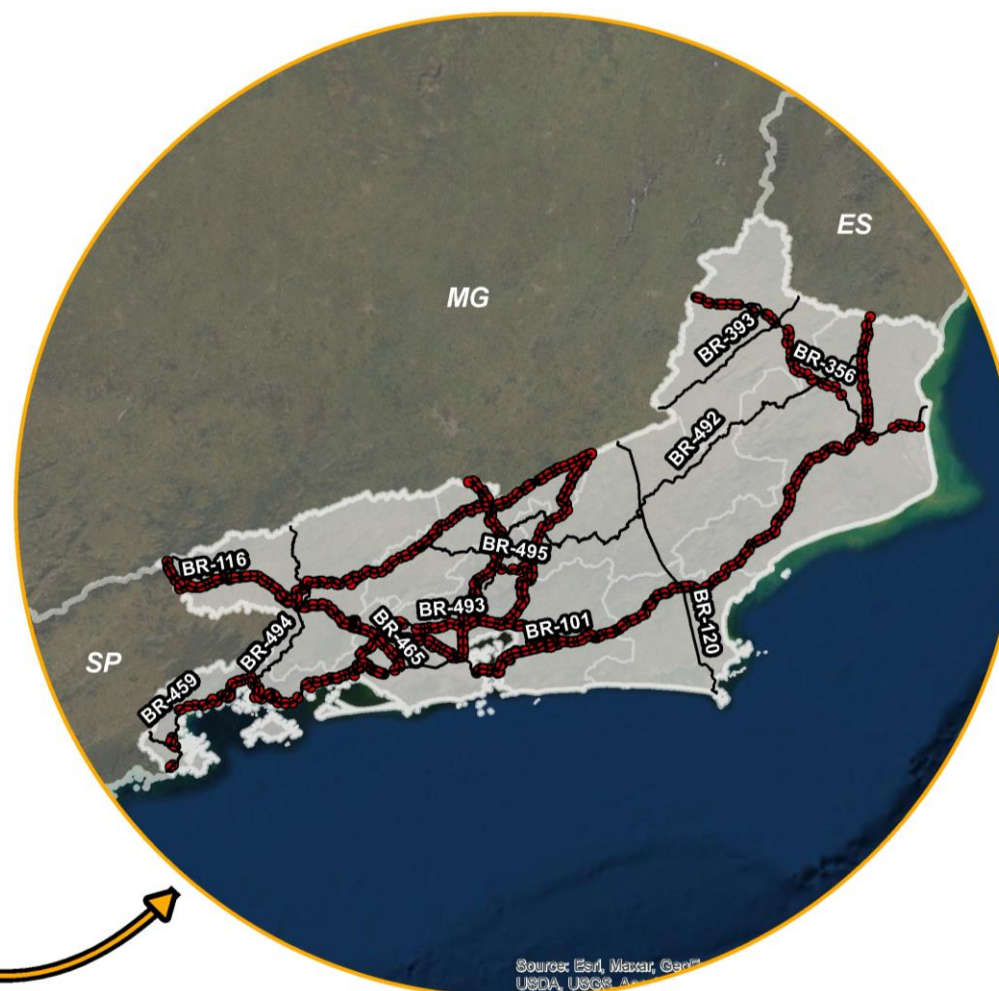
Figura 9: Regiões de Governo e Municípios do Estado do Rio de Janeiro.
Fonte: CEPERJ, 2019.

Cabe destacar que os dados do sistema viário utilizado no presente estudo concernem apenas às rodovias federais sob fiscalização da PRF. As Rodovias Federais que cruzam o Estado do Rio de Janeiro (DNIT, 2020) e foram objetos deste estudo são: BR-040, BR-101, BR-116, BR-354, BR-356, BR-393, BR-465, BR-485, BR-493 e BR-495¹¹. A Figura 10 ilustra a área de estudo com os locais de acidentes coletados no Estado do Rio de Janeiro entre os anos de 2017 a 2019. Na Figura 10 estão representados na área de estudo os registros de acidentes utilizados neste trabalho.

¹¹ De acordo com o DNIT (2020) são 15 rodovias federais que cruzam o Estado do Rio de Janeiro, entretanto dados de acidentes foram coletados e disponibilizados pela PRF em 10 destas.

Legenda

- Rodovias Federais
- Acidentes registrados
- Limites Estatuais
- Regiões de Governo - RJ



0 60 120 240 Km

Elaborado por: Samir Brassana (2020).

Figura 10: Mapa do Estado do Rio de Janeiro com acidentes de veículos pesados (2017-2019) nas rodovias federais.
Fonte: Elaboração do autor.

5.2 Levantamento dos dados

Os dados e informações dos acidentes de trânsito para a pesquisa foram coletados através das planilhas eletrônicas obtidas nos relatórios de acidentes de trânsito do Departamento de Polícia Rodoviária Federal (DPRF), formulados a partir do sistema DATATRAN/DPRF, que possui o banco de dados de todos os boletins de ocorrência da corporação (BRASIL, 2019).

Destaca-se que entre os anos de 2007 e 2016 a PRF registrava os acidentes por meio do sistema BR-Brasil. Neste sistema, o policial responsável pela ocorrência inseria dados referentes aos envolvidos, ao local, aos veículos e à dinâmica do acidente. Em janeiro de 2017 o sistema BR – Brasil foi descontinuado e a PRF passou a utilizar um novo sistema para registro das ocorrências de acidentes de trânsito. Para o tratamento de dados e maior confiabilidade, a presente pesquisa usou registros de 3 anos, a partir de 2017 até 2019, para que os mesmos critérios e parâmetros fossem mantidos.

Outros órgãos também mantêm registros de acidentes de trânsito, como boletins de ocorrência da polícia militar, polícia civil, Ministério da Saúde, IPEA, entre outros. Os dados da PRF foram escolhidos devido a sua padronização de registro por todo o país, enquanto outros órgãos possuem ainda grande divergência de formatos, armazenamento e disponibilização.

Para que, as metodologias aqui testadas, possam ser replicadas facilmente para outras localidades, destaca-se que o Anexo 1 apresenta o dicionário das variáveis nas planilhas disponibilizadas pela PRF. São publicados três principais tipos de planilha com os acidentes de cada ano. Uma de dados agrupados por ocorrência (*id* de acidente como campo-chave), uma de dados agrupados por pessoa (*id* de pessoa como campo-chave), e outra com todas as causas e tipos de acidentes (ambos *ids*), juntamente com ocorrências e pessoas. Em diferentes momentos desta pesquisa todas chegaram a ser utilizadas, seja para identificar acidentes, números de vítimas ou quando se tornou necessária a utilização dos dados em conjunto.

Cabe salientar ainda que a utilização dos dados para os anos de 2017, 2018 e 2019 segue aquilo que é sugerido na literatura para as análises realizadas serem mais significativas. Desta maneira, a utilização de três anos para a análise está de acordo com outros estudos (ISEN *et al.*, 2013; AL-OMARI *et al.*, 2020).

Destaca-se ainda que, a partir de 2017, a PRF começou a utilizar novos modelos de planilha. Existem 25 categorias diferentes para a coluna “*tipo_veiculo*” nos registros da PRF. Para fins de elaboração das análises neste estudo sobre caminhões, devido a similaridades de peso x carga, foram consideradas também nas análises as seguintes classes: ‘Caminhão’, ‘Caminhão-Trator’, ‘Micro-ônibus’, ‘Ônibus’¹², ‘Reboque’ e ‘Semirreboque’.

Para representação das vias em SIG, obtiveram-se os mapas e cartas da malha viária (Sistema Viário Nacional – SNV de 2020), junto ao DNIT (2020). Para os cálculos com volume de tráfego, os mesmos foram coletados junto ao DNIT, que disponibiliza os dados de tráfego do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT) em seu site¹³. Estão divulgados dados de Volume Médio Diário (VMD)¹⁴, além do Volume Total Diário (VTD), que contempla dados de todos os dias do mês. Os dados mais atualizados foram utilizados, deu-se prevalência para os anos de estudo (2017, 2018 e 2019), quando não disponíveis, foram utilizados os mais recentes disponíveis (dados entre 2015 e 2019).

A Tabela 3 apresenta a distribuição geral dos dados que foram utilizados nas análises, abordando a gravidade do acidente em relação com o ano de ocorrência.

¹² Optou-se por incluir na pesquisa Ônibus e Micro-ônibus por também serem veículos pesados e agregar dados de transporte de pessoas.

¹³ <http://servicos.dnit.gov.br/dadospnct> - As informações são obtidas por meio de 228 equipamentos/postos instalados nas rodovias federais administradas DNIT.

¹⁴ Aonde houve ausência de dados (BR-354, BR-465, BR-493 e BR-495) na Contagem Contínua PNCT utilizou-se dados da Modelagem de VMDA de 2018, também disponíveis no PNCT e feitos com metodologia desenvolvida pela COPPE-UFRJ. A BR-485 e BR-495 ficara do fora do Método do DENATRAN (1987) por não possuir dados suficientes de VMD.

Tabela 3: Acidentes de veículos pesados por ano por severidade nas estradas federais do Rio de Janeiro.

Fonte: BRASIL (2019). Elaboração do autor.

| Ano | Total de acidentes | Sem vítimas | Com vítimas Leves | Com vítimas Graves | Com Fatalidades |
|-------------|---------------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|
| 2017 | 1603 | 714 | 619 | 152 | 118 |
| 2018 | 1251 | 385 | 598 | 175 | 93 |
| 2019 | 1122 | 300 | 531 | 174 | 117 |

5.3 Escolha dos Softwares

Para o desenvolvimento do estudo, fez-se necessário a utilização de um software adequado e disponível, com ferramentas de análise e que permitiu a compatibilidade para a introdução dos dados alfanuméricos. Optou-se pelo software ArcGIS 10.7.1, que é um conjunto integrado de produtos de software SIG, produzido pela ESRI, instalado em plataforma Windows e que armazena os dados em diferentes formatos, como por exemplo *shapefile*, *geodatabase*, DWG, entre outros.

Quando necessário foram realizadas conversões de mapas e cartas básicas de forma que tenham compatibilidade cartográfica, ou seja, projeção e *datum*. Manteve-se como padrão a projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS 2000, por ser o sistema geodésico de referência para atividades da cartografia brasileira, de acordo com a resolução 01/2015 do IBGE. A maioria dos mapas básicos já estavam com essa projeção e as outras foram convertidas e projetadas através de ferramentas do SIG.

5.4 Processamento dos dados

A qualidade e precisão das coordenadas espaciais dos acidentes são essenciais para qualquer análise espacial significativa. Fez-se, portanto, necessário uma validação geográfica desses locais de acidentes antes que qualquer análise espacial científica pudesse ser efetuada. Na análise dos dados de acidentes, para redução de erros, retirou-se do estudo os pontos com coordenadas discrepantes,

distantes das rodovias ou que estavam fora do Estado do Rio de Janeiro¹⁵, por possíveis erros de registro. Os remanescentes tiveram sua posição original mantida, pois as metodologias espaciais utilizadas focam nas regiões com índices elevados de acidentes (com intuito também de incluir influências de intersecções de vias vicinais menores nas análises).

Dentre as informações da PRF, estão inclusos dados vitais sobre acidentes, como a data e hora dos acidentes, tipos de acidentes, veículos envolvidos, idade e sexo dos motoristas, o número de feridos, severidade dos acidentes, etc. Foram feitos gráficos, assim como Le *et al.* (2019), que ressaltou a importância de representações gráficas para uma compreensão geral e distribuição dos dados de acidentes. Como as possibilidades são numerosas, as representações gráficas se limitaram a informações relevantes a esta pesquisa.

Diante disto, destaca-se que o período, tempo e instante em que ocorrem acidentes são valiosos para entender os fatores subjacentes aos acidentes, adaptar a infraestrutura e resposta a emergências. Apresentar contagens de frequência em forma de tabela, como nos dados do IBGE, não facilita a visualização e compreensão desses dados. Em vez disso, os dados temporais podem ser mostrados usando gráficos de linhas/colunas ou *spider plots* (PLUG *et al.*, 2011). De particular interesse para este artigo foram os *spider plots*, também conhecidos como gráficos de radar. Esse método de representação destaca a natureza cronológica dos dados e ajudam a visualizar a variação dos acidentes temporalmente. Como um *spider plot* possui uma natureza circular, é simples examinar intervalos de tempo que não são mostrados como contínuos no gráfico de linhas. Ademais, o gráfico se apresenta em forma de um relógio, apenas uma olhada é necessária para compreender as informações.

¹⁵ Na literatura pode-se encontrar casos de utilização da ferramenta *Snap* em SIG para capturar os pontos em um determinado raio e coincidir com a via mais próxima (AGYAKWAH, 2018).

5.5 Preparação do SIG, Camadas e Análises

5.5.1 Análises Espaciais

Há uma gama de abordagens adotadas por pesquisadores. Trabalhos mais antigos, frequentemente eram limitados à modelagem estatística complexa para identificar pontos críticos de acidentes. Mais recentemente, o SIG causou um impacto notável nos estudos de pontos críticos de acidentes e traz consigo diversas aplicações sofisticadas estatístico-espaciais para aumentar a precisão e a informação de pontos de acidentes nas vias (ANDERSON, 2007). Para definição dos *hotspots* de acidentes, não existe um método universal, razão pela qual a comparação contínua de métodos é vital para que os *hotspots* de acidentes de trânsito sejam determinados da maneira mais aperfeiçoada. Em seguida serão descritos os métodos escolhidos para utilização nesta pesquisa.

5.5.2 Estimativa da Densidade de Kernel

A estimativa da densidade de Kernel (KDE) é uma técnica de interpolação, que é um método para generalizar pontos de interesse em uma área definida. Uma das vantagens dessa representação, particularmente para acidentes rodoviários, é que eles podem fornecer uma visão mais realista de um modelo contínuo de padrões de pontos críticos. Refletindo mudanças nas densidades de risco que, muitas vezes, são difíceis de representar geograficamente utilizando modelos baseados em limites restritos, como redes de transporte (ANDERSON, 2007). O KDE calcula uma magnitude por unidade de área de pontos ou linhas usando uma função para ajustar uma superfície suavemente a cada ponto ou linha. O valor da superfície é mais alto na localização do ponto e diminui para longe do ponto, chega a zero na distância do raio a partir do ponto (Figura 11) (ERDOGAN *et al.*, 2008).

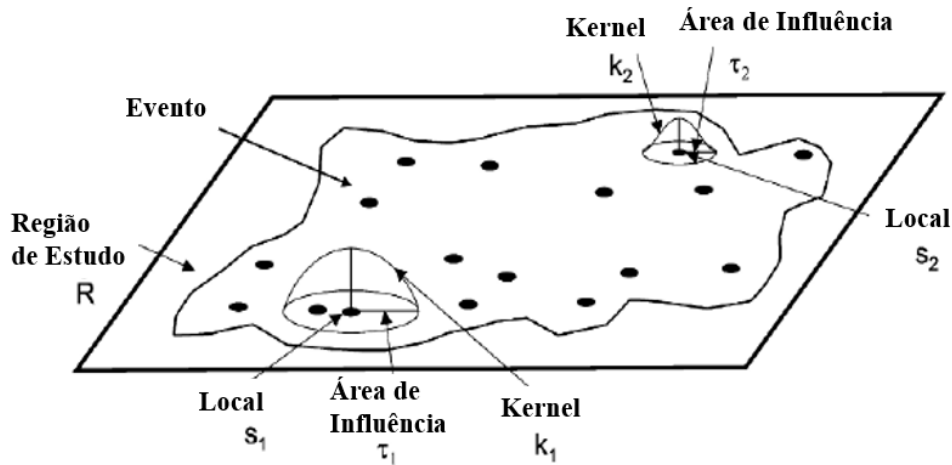


Figura 11: Princípio da Função do KDE.

Fonte: Adaptado de ERDOGAN et al. (2008). Tradução do autor.

A Equação (1) usa um Kernel quártico desenvolvido por Silverman (1986) e é calculada para cada local em que se deseja estimar a densidade. Como uma varredura está sendo criada, os cálculos são aplicados ao centro de cada célula (*pixel*) na varredura de saída (ESRI, 2019).

$$\hat{\lambda} = \sum_{i=1}^n \frac{3}{\pi\tau^2} \left(1 - \frac{h_i^2}{\tau^2}\right)^2 \quad (1)$$

Sendo que:

$\hat{\lambda} \rightarrow$ densidade no local s

$\tau \rightarrow$ Área de Influência

$h \rightarrow$ distância entre o ponto i e a localização (x,y)

A partir do exposto, elaborou-se mapas utilizando a estimativa de densidade de Kernel para criar uma superfície (*Raster*) da densidade dos acidentes. Para sua execução, esse método requer a divisão da área de estudo em grades de tamanho de célula definido pelo usuário e um raio de área de influência para calcular a densidade da colisão de tráfego. Estudos pesquisados utilizaram tamanhos de célula

(ou *pixel*) entre 10m e 500m e área de influência entre 400m e 1000m, sendo que a maioria baseava-se em regiões urbanas (ANDERSON, 2007; ERDOGAN *et al.*, 2008, XIE & YAN, 2008; HASHIMOTO *et al.*, 2016; NAIK *et al.*, 2016; AGYAKWAH, 2018; FAMILI *et al.*, 2018). Como a área de estudo desta pesquisa é extensa (Estado do Rio de Janeiro) adaptou-se e testaram-se os valores para uma maior otimização dos resultados gerados. Para os mapas de Kernel, optou-se pela área de influência de 2000 metros e o tamanho da célula de 200 metros¹⁶. Esses parâmetros definiram a região (vizinhança) na qual o KDE foi calculado.

5.5.3 Estatísticas Espaciais

As análises estatísticas espaciais foram separadas em dois momentos. Inicialmente, elaborou-se uma análise a partir dos pontos de acidentes, utilizando-se como atributo principal a própria Incidência de pontos. Posteriormente, repetiu-se a análise, entretanto, utilizando a Severidade dos mesmos como atributo principal.

Para os casos de incidência, existem duas formas principais na literatura de fazer essas análises (Figura 12). A primeira se realizaria a partir da elaboração de uma junção espacial¹⁷ com polígonos ou uma grade pré-definida (ANDERSON, 2007). A outra, e utilizada também por Prasannakumar *et al.* (2011), foi escolhida nesta pesquisa. Nesta, utiliza-se uma ferramenta¹⁸ que identifica pontos a uma determinada distância dos outros (utilizando-se para o trabalho um raio de 200m), assumindo-se uma mesma coordenada para eles. Em seguida, combinam-se¹⁹

¹⁶ O tamanho da célula indica a lateralidade da mesma. Isto quer dizer que o *pixel* que compõe o output de saída apresenta uma área total de 40.000 m² (200 m x 200 m), ou seja, 4 hectares.

¹⁷ *Spatial Join Tool* - Une atributos de um recurso a outro com base na relação espacial (ESRI, 2019)

¹⁸ *Integrate* - Analisa as coordenadas de pontos em um ou mais atributos. Aqueles que se situam a uma distância especificada um do outro são assumidos como representando o mesmo local e recebem um valor de coordenada comum (ESRI, 2019).

¹⁹ *Collect Events* - Converte dados de eventos em dados de pontos ponderados (ESRI, 2019).

pontos coincidentes e criam um novo atributo chamado *ICount* para armazenar a união de todos os incidentes em cada local.

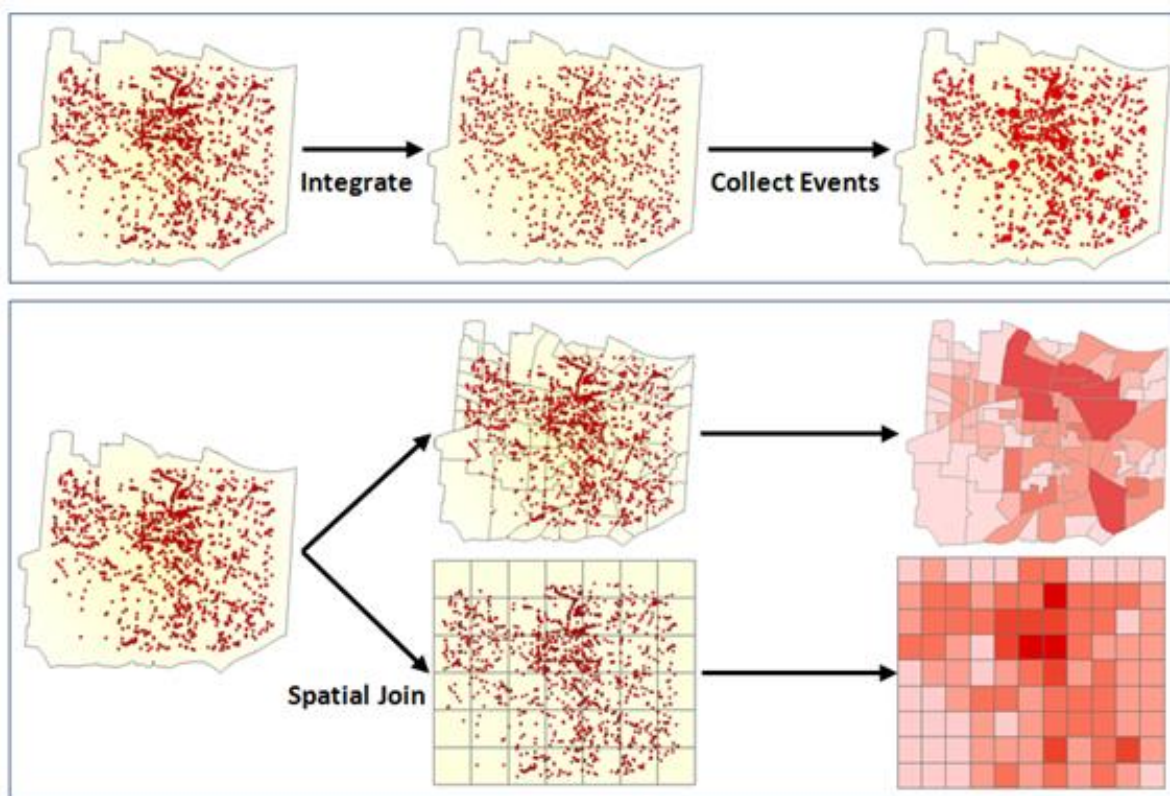


Figura 12: Formas de agregar dados para realização de análises espaciais baseado na incidência de pontos.

Fonte: ESRI, 2019.

Em seguida, empreendeu-se, para fins de comparação, utilizar como ponderação a Severidade dos acidentes. Para comparar e caracterizar aonde ocorre o maior número de acidentes, e complementar na análise aqueles com maior potencial de causar danos graves, faz-se necessário utilizar outras ferramentas. AGHAJANI *et al.* (2017) utilizaram pesos para ponderação dos pontos durante os estudos de autocorrelação e análise de *hotspots* de acidentes rodoviários no Irã. Os pesquisadores usaram as ponderações de 1, 3 e 7, respectivamente para acidentes sem vítimas, acidentes com vítimas e acidentes com fatalidades. Seguindo metodologia semelhante, este estudo optou por criar também um peso para severidade, que foi utilizado como atributo principal para as análises estatísticas espaciais. Baseado em valores utilizada na literatura (DNER, 1986; DENATRAN,

1987; BRASIL, 2002) escolheu-se as ponderações 1, 3, 7 e 13, respectivamente, para acidentes sem vítimas, acidentes com vítimas leves, acidentes com vítimas graves e acidentes com fatalidades.

Para execução das estatísticas espaciais em SIG, optou-se pelos Índice Globais e Locais de Moran (I), com os mesmos parâmetros em ambos os casos. A variável de ponderação para Incidência foi o atributo *ICount* e para Severidade foi o atributo *PesoSeveridade* (1, 3, 7 ou 13).

Para calcular o grau de dispersão ou concentração dos acidentes foi utilizada o ‘Índice de Moran (I) Global’²⁰. O objetivo principal dessa ferramenta foi verificar se os pontos de acidentes estão distribuídos no mapa de forma Dispersa, Aleatória ou Agrupada (*Cluster*). De fato, essa ferramenta calcula o ‘Índice de Moran (I) Global’ e avalia sua significância através de três variáveis de resultado: Índice de Moran, *Z-score* e *P-value*. Se os valores no conjunto de dados tendem a se agrupar espacialmente (valores altos se agrupam perto de outros valores altos e valores baixos se agrupam perto de outros valores baixos), o Índice de Moran será positivo. Este índice costuma variar entrar -1,0 e + 1,0 (ESRI, 2019).

Os *Z-scores* e *P-values* são medidas de significância estatística que indicam se o agrupamento espacial observado de valores altos (ou baixos) é mais intenso do que se esperaria uma distribuição aleatória desses mesmos valores. Um *Z-score* alto e um *P-value* pequeno indicam um *hotspot* significativo. Um baixo *Z-score* negativo e pequeno de *P-value* indicam um *coldspot* significativo. Quanto maior (ou menor) a pontuação Z, mais intenso o agrupamento (essa lógica do Moran Global também é válida para o Local). *P-values* possuem faixas de níveis de significância estatística de 0,10, 0,05 e 0,01 ou, respectivamente, nível de confiança de 90%, 95% e 99% (GETIS & ORD, 1992).

A Equação (2) para cálculo do ‘Índice de Moran (I) Global’ pode ser definida por:

²⁰ *Spatial Autocorrelation Tool* - Mede a autocorrelação espacial com base nos locais dos recursos e nos valores dos atributos usando a estatística I do Global Moran (ESRI, 2019).

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} Z_i Z_j}{\sum_{i=1}^n Z_i^2} \quad (2)$$

Sendo que:

$n \rightarrow$ número de pontos

$Z_i \rightarrow$ diferença do atributo de um ponto pela sua média ($X_i - \bar{X}$)

$w_{i,j} \rightarrow$ diferença espacial entre os pontos i e j

$S_0 \rightarrow$ agregado de todos os pesos espaciais.

Como parâmetros de entrada para realizar Índice de Moran Global foram utilizados o Peso, Distância Inversa ao Quadrado, Linha padronizada (*standardized row*)²¹ e faixa de distância de 5.200m. A Faixa de Distância foi encontrada a partir de ferramenta²² do ArcGIS de contagem de vizinhos, calculando-se a distância limite para que um ponto tenha pelo menos 1 vizinho.

Tanto o Getis-ord Gi* como o Índice de Moran Local calculam a associação espacial local entre um evento e sua estrutura vizinha, baseando-se em similares, porém diferentes abordagens. O ‘Índice de Moran (I) Local’²³ foi favorecido nesta pesquisa porque estudos (MOONS *et al.*, 2009; AGYAKWAH, 2018) confirmaram um resultado mais estável em comparação com outros índices. O Índice de Moran

²¹ Parâmetros similares também usados por Moons *et al.* (2009), Choudhary *et al.* (2015) e Agyakwah (2018).

²² *Calculate Distance Band from Neighbor Count Tool* - Retorna a distância mínima, máxima e média do enésimo próximo vizinho especificado (N é um parâmetro de entrada) para um conjunto de recursos.

²³ *Cluster and Outlier Analysis (Anselin Local Moran's I)* - Dado um conjunto de características ponderadas, identifica *hotspots*, *coldspots* e *outliers* espaciais estatisticamente significativos usando a estatística Moran (I) Local de Anselin (ESRI, 2019).

foi utilizado para avaliar o grau de interdependência espacial entre uma variável em estudo e sua vizinhança.

Em contraste com as estatísticas globais, as quais geram uma única medida global de um espaço padrão em toda a região do estudo, estatísticas locais são calculadas para unidades espaciais individuais na região de estudo para capturar padrões espaciais localizados (YAMADA & THILL, 2010). A verificação dos *hotspots* localmente, estatisticamente significantes, com o ‘Índice de Moran (I) Local’ pode ser dada pela expressão descrita na Equação (3), criada por Anselin (1995), aplicando o conceito de LISA.

$$I_i = \frac{n}{(n-1)s^2} (x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij}(x_j - \bar{x}) \quad (3)$$

Sendo que:

$n \rightarrow$ número de pontos;

$x_i \rightarrow$ atributo do acidente no local i ;

$\bar{x} \rightarrow$ número médio do atributo dos acidentes em toda a região de estudo;

$w_{ij} \rightarrow$ Ponderação representando a distância entre o local i e j ;

$S^2 \rightarrow$ Variação dos valores observados.

Assim como a versão Global de Moran foi descrita no parágrafo anterior, a versão local também foi avaliada usando os mesmos parâmetros. Enquanto o índice global tem como *output* um relatório com os dados do resultado da análise de autocorrelação espacial, o ‘Índice de Moran (I) Local’ tem como *output* um *layer* com cinco categorias de *hotspots*: ‘Não significantes’, ‘High-High Cluster’, ‘High-Low Outlier’, ‘Low-High Outlier’ e ‘Low-Low Cluster’ (Figura 13). Apenas localidades com significância estatística (P-value < 0.01) e High-High clusters (Alta incidência de valores altos) foram selecionadas como *hotspots* para esta pesquisa.

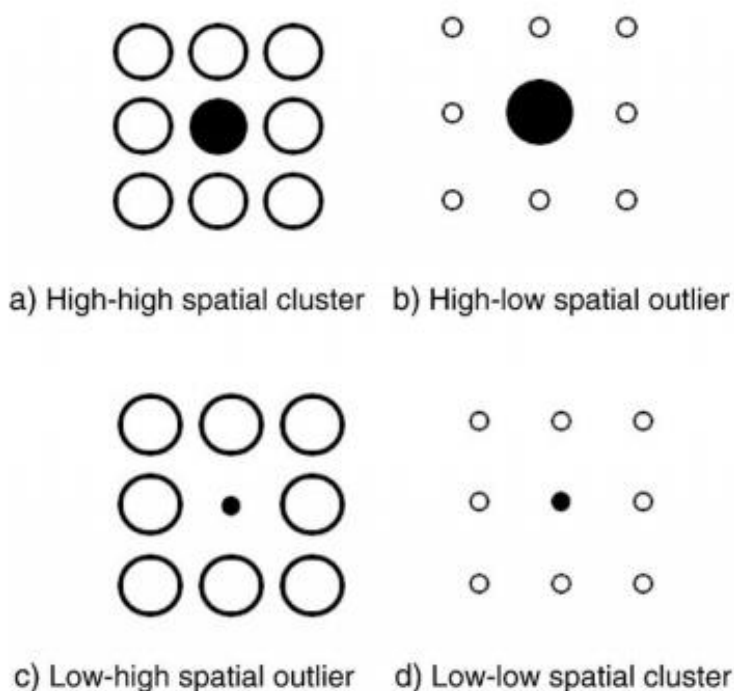


Figura 13: Output do Moran (I) Local e relacionamento dos dados com sua vizinhança.
Fonte: Adaptado de Zhang et al. (2008).

5.5.4 Método Numérico-Relativo (DENATRAN, 1987)

Para cálculo dos segmentos críticos através de um método numérico-relativo, optou-se por aquela exposta pelo ‘Manual de Identificação, análise e tratamento de pontos negros’ (DENATRAN, 1987). Essa metodologia foi criada pelo Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) em conjunto com a Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, na Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ. O Manual destaca duas formas principais de realizar a prevenção de acidentes de trânsito. Uma delas é o viés educacional, orientativo e fiscalizatório. Outro deles trata da identificação e tratamento dos locais mais perigosos, chamados de pontos negros (nessa pesquisa denominados de *hotspots*), quando se fala de segurança viária.

O manual complementa que para um estudo eficiente são necessárias fases para compreender os *hotspots*. Essas fases de estudo incluem, por exemplo: a) Manutenção de cadastro de dados viários; b) Análises dados estatísticos; c) Classificar locais perigosos; d) Identificar fatores de risco; e) Identificar medidas

corretivas; f) Implementar projeto; g) Monitoramento. Nesse trabalho, será empregada a metodologia de identificação destes pontos negros, brevemente mencionada no Capítulo 1. Será calculada para cada segmento das rodovias (de 1km) uma Unidade Padrão de Severidade (UPS), que pode ser expressa pela Equação 4.

$$UPS = A.S.V. + A.C.V. \times 5 + A.C.F. \times 13 \quad (4)$$

Sendo que:

A.S.V. → Número de acidentes sem vítimas;

A.C.V. → Número de acidentes com vítimas;

A.C.F. → Número de acidentes com fatalidades.

Um das vantagens dessa metodologia é poder avaliar o nível de risco dos segmentos da rodovia levando em conta a influência do volume de tráfego, em relação aos acidentes de trânsito. Por esse motivo, e por sua praticidade, costuma ser utilizada em estudos, assim como outras metodologias semelhantes (PARO, 2009; SCHMITZ, 2011; MASSARO, 2018). A Taxa de Severidade pode ser expressa pela Equação 5.

$$T.S. = \frac{UPS \times 10^6}{P \times VMD \times E} \quad (5)$$

Sendo que:

T.S → Taxa de Severidade em UPS por milhões de veículos;

UPS → Unidade Padrão de Severidade;

P → Período do estudo, em dias (geralmente 365 dias);

VMD → Volume Médio Diário que passa no trecho;

E → Extensão do trecho (em km).

O manual utiliza a Equação 5 para trechos viários e, para o caso de interseções, seria a mesma fórmula, entretanto, retirando-se a variável E (Extensão). Salienta-se ainda que, neste estudo, os trechos foram segmentados em partes de

0,999 km, sendo a diferença de 0,001km desprezada²⁴. Sobre a adoção do tamanho dos segmentos adotados, cabe dizer que segmentos entre 0,5km e 1,9km costumam ser utilizados pela literatura nacional e internacional (SORATE et. al., 2015; NAIK et al., 2016; MASSARO, 2018).

A mesma metodologia será aplicada para a obtenção da Taxa de Acidentes (T.A.). Para isso, será substituída na Equação 5 o valor de UPS pelo número total de acidentes nos respectivos trechos, sendo expresso pela Equação 6. Com o intuito de, assim como nas análises espaciais estatísticas, obter-se uma comparação entre os dados voltados para incidência dos acidentes e para as suas respectivas gravidades.

$$T.A. = \frac{N^{\circ} \text{Acid.} \times 10^6}{P \times VMD \times E} \quad (6)$$

Sendo que:

T.A → Taxa de Acidentes por milhões de veículos;

N° Acid → número de acidentes no trecho;

P → período do estudo, em dias (geralmente 365 dias);

VMD²⁵ → Volume Médio Diário que passa no trecho;

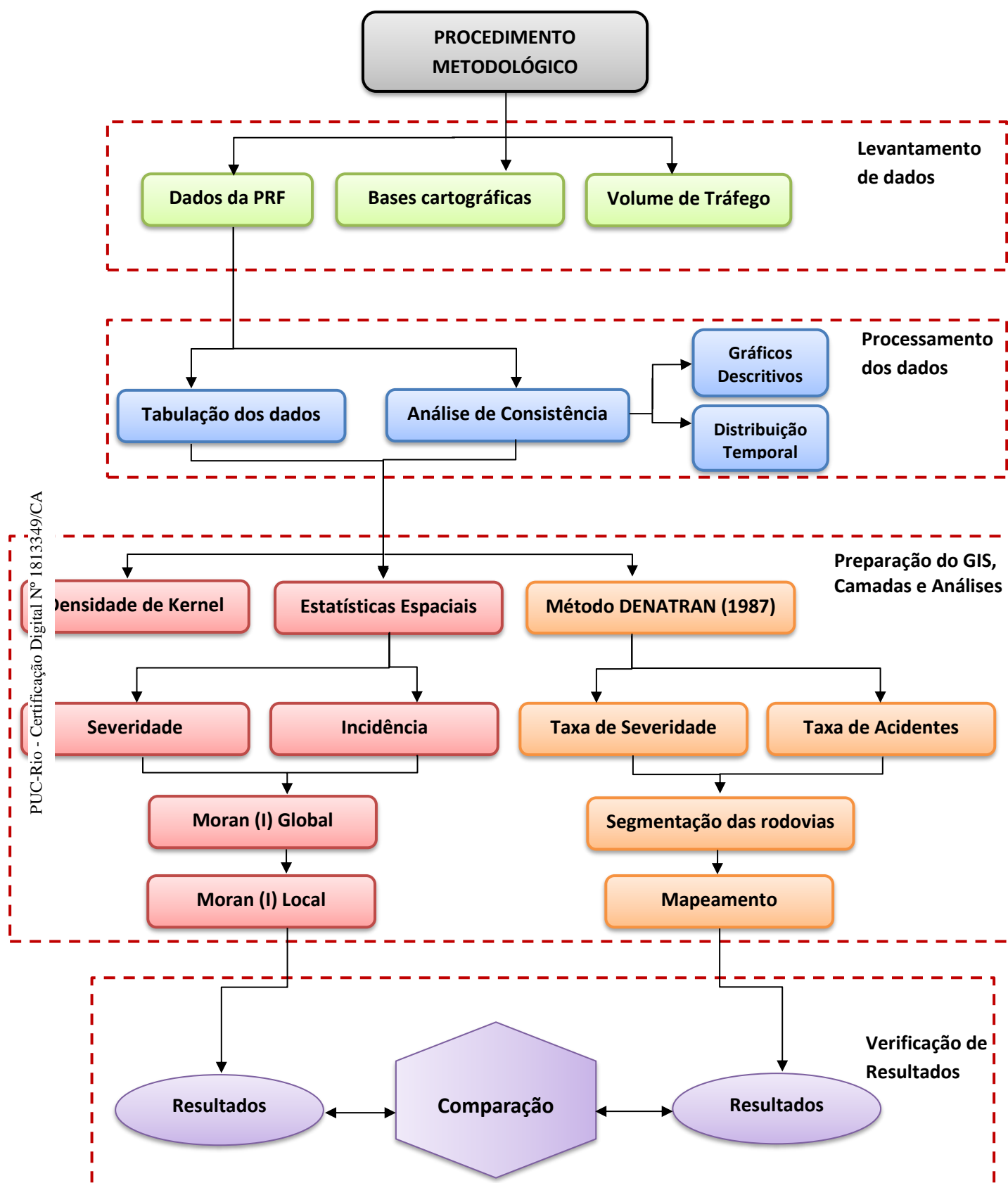
E → extensão do trecho (em km).

Para facilitar a visualização da sequência e organização das análises e de todas as etapas realizadas no trabalho, no subitem a seguir, apresenta-se um fluxograma completo dos procedimentos metodológicos da pesquisa.

²⁴ Os acidentes com KM assinalados com “NA” ou “0,0” (zero) foram desconsiderados na análise para diminuir possibilidades de erros de registro.

²⁵ O VMD utilizado, tanto para Taxa de Acidentes como para Severidade, engloba todas as categorias de veículos, inclusive automóveis.

5.6 Fluxo metodológico



6 Resultados e discussões

Este capítulo traz padrões temporais, tendências espaciais, representações visuais, análises descritivas dos dados, mapas geoprocessados em SIG e as análises descritas no Capítulo 4. Cada gráfico ou mapa apresentado traz um recorte espacial da situação espacial de segurança do tráfego encontrada na área de estudo. A observação das representações e interpretações visuais permitem uma maior compreensão da distribuição dos acidentes com veículos pesados nas rodovias federais do Estado do Rio de Janeiro. Para enriquecer e embasar a pesquisa, o capítulo traz discussões com dados e resultados em vista da literatura existente.

6.1 Gráficos descritivos

Uma primeira análise debruçou-se sobre a tentativa de compreensão da distribuição dos acidentes registrados por rodovia federal por ano (Figura 14). Em geral, nota-se uma redução de 33% no número de acidentes registrados nas quatro rodovias com maiores números absolutos de acidentes (BR-040, BR-101, BR-116 e BR-393). As rodovias BR-101 e BR-116 são as de maior extensão dentro do Estado do Rio de Janeiro, possuindo cerca de 550 km²⁶ e 350 km respectivamente. O grande fluxo de carga e pessoas nessas rodovias (Rio-São Paulo) também auxilia para que seus números totais sejam superiores aos encontrados nas outras rodovias. Detalhes maiores dos trechos das rodovias serão abordados e descritos nos mapas temáticos com as respectivas análises espaciais.

²⁶ Para melhor efeito de comparação, cerca de 40 Km foram retirados do traçado original da BR-101 do Sistema Nacional de Viação (SNV) oferecida pelo DNIT, pois esses trechos não possuíam dados da PRF por estarem dentro do município do Rio de Janeiro.

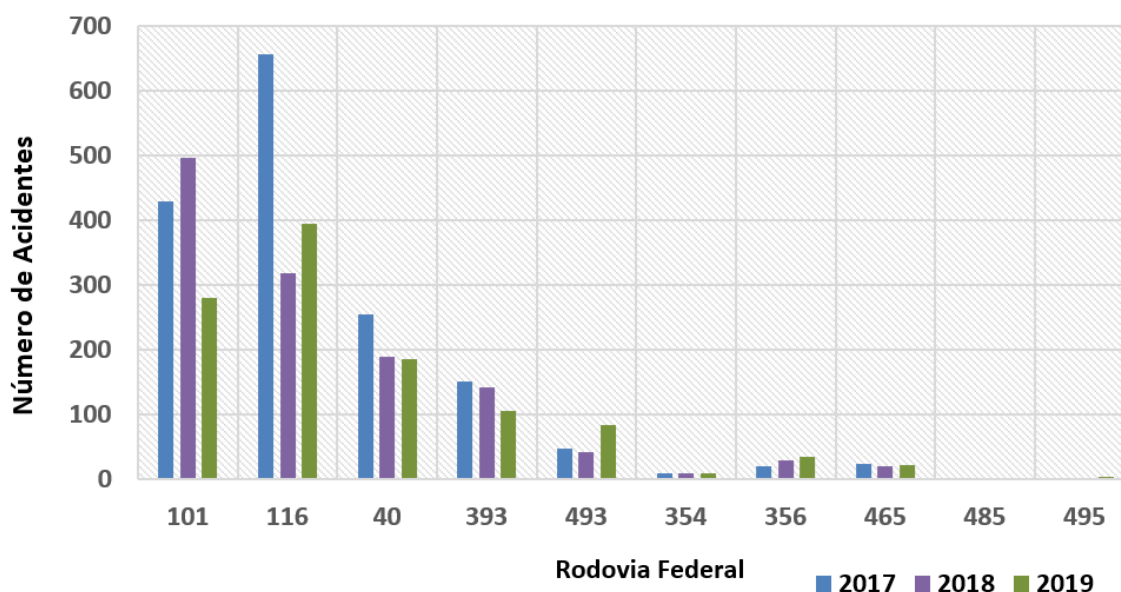


Figura 14: Acidentes por BR por ano.
Fonte: BRASIL (2019). Elaboração do autor.

Genericamente, os dados apresentam uma maior queda com o passar dos anos nos acidentes de baixa gravidade (sem vítimas e com vítimas leves), em compensação os de maior gravidade (com vítimas graves e com fatalidades) parecem se estabilizar (Figura 15). Destaca-se o ano de 2019 que possui uma relação de 1 fatalidade a cada 2.6 acidentes sem vítimas, ao passo que essa proporção era de 1 fatalidade para 6.1 em 2017. Esse aumento abrupto da proporção ‘Fatalidade x Sem vítimas’ pode estar relacionada a uma cultura de menor registros de acidentes apenas com danos materiais. Tendência essa que foi percebida a partir de 2013 no relatório de Acidentes Rodoviários e Infraestrutura da CNT (2018) e confirmada a partir de 2015 quando a PRF deixa de registrar os acidentes sem vítimas, sendo esses feitos pelos próprios usuários envolvidos via e-DAT.

Informações do site da PRF informam que, para que seja registrado pelo e-DAT (Declaração de Acidente de Trânsito) pelo usuário, o acidente deve preencher os requisitos abaixo:

- Não pode ter vitimado ninguém, nem mesmo levemente;
- Não pode ter provocado vazamento ou derramamento de produto perigoso; avaria nas embalagens dos produtos perigosos fracionados; dano no

equipamento de transporte de produto perigoso a granel (por exemplo, uma carroceria do tipo tanque);

- Não pode ter provocado danos a bens públicos da PRF;
- Não pode ter ocorrido incêndio, abrangendo pelo menos um terço das dimensões do veículo ou submersão em algum dos veículos envolvidos.

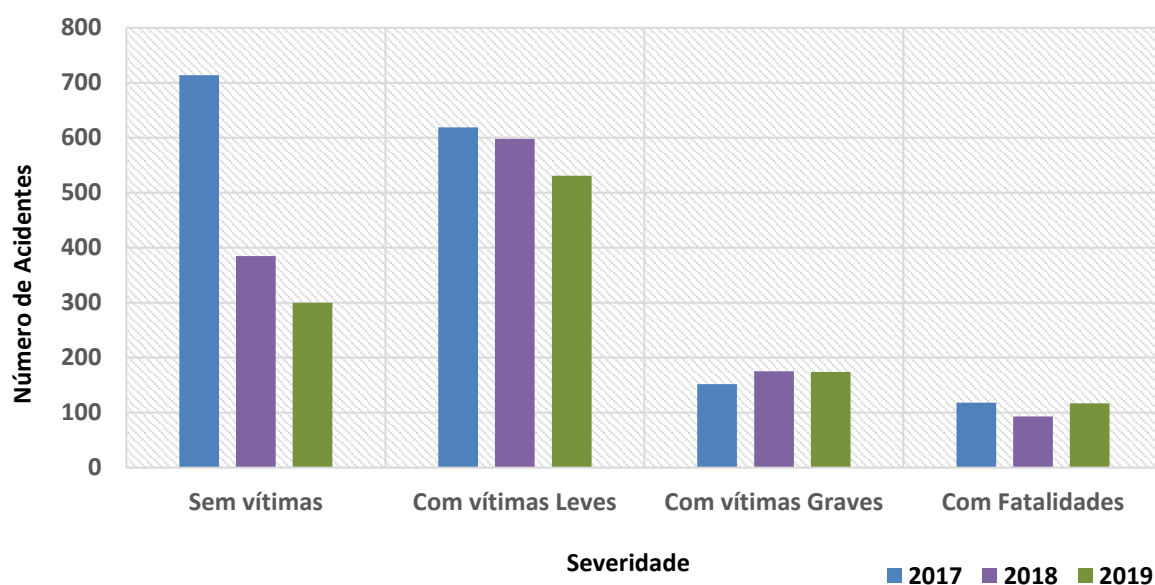


Figura 15: Acidentes por Severidade por ano.
Fonte: PRF, 2019. Elaboração do autor.

6.2 Distribuição temporal

Período de maior concentração de chuvas no Rio de Janeiro, coincide com o verão do estado, entre os meses de dezembro a março (SILVA & DEREZYNSKI, 2014). A Figura 16 mostra um leve aumento nesses meses dos acidentes em cerca de 6% a mais do que a média mensal total dos acidentes. Influência que também pode estar relacionada com o aumento de turistas e deslocamentos no estado. Nesse período de veraneio, cerca de 3 milhões de turistas visitam o Estado do Rio de Janeiro, sendo que boa parte desse total se desloca pelo modal rodoviário (RIO, 2013; TURISRIO, 2014). Além da temporada de verão com chuvas, o fato de ser época de férias escolares e festejos, como o Réveillon e o

Carnaval no Brasil, maiores volumes de veículos e riscos são gerados nas estradas, conforme também visto por Agyakwah (2018).

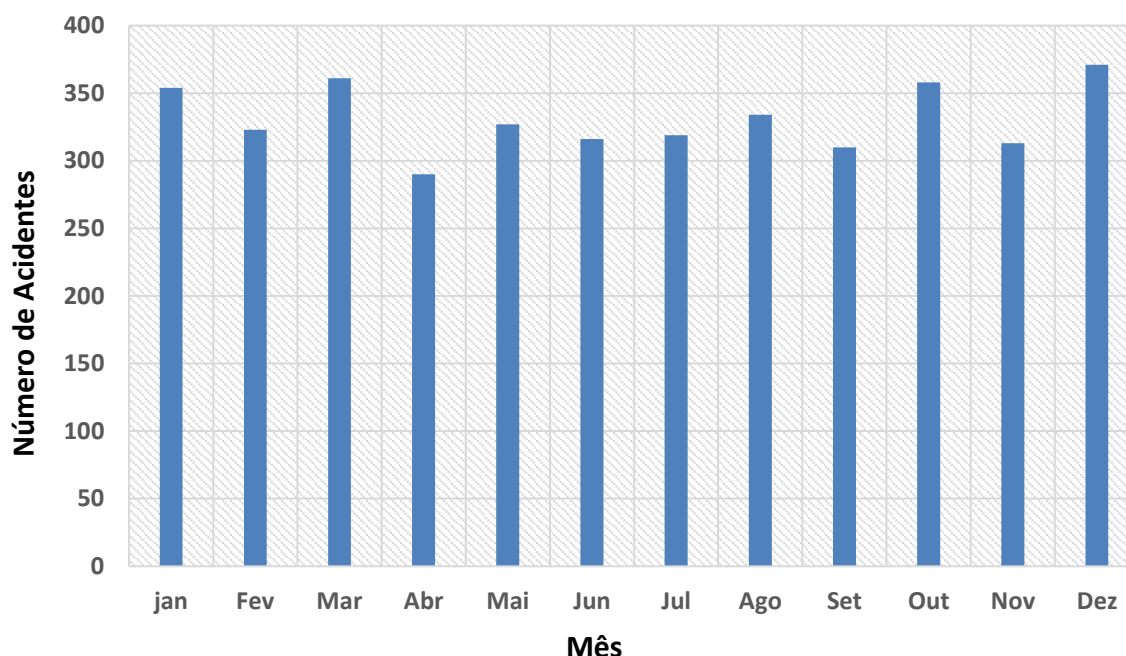


Figura 16: Acidentes por mês.

Fonte: BRASIL (2019). Elaboração do autor.

Nos três anos de dados coletados, a média durante os dias da semana foi de 568 acidentes. Verifica-se, a partir da Figura 17, que o número de acidentes foi menor nos fins de semana (sábado e domingo) e maior durante os dias úteis de semana (segundas, terça, quartas, quintas e sextas). Dados que estão alinhados, no Rio de Janeiro, com a tendência registrada também pela Confederação Nacional dos Transportes (2019) para caminhões em todo o território brasileiro. Isso se justifica por veículos pesados estarem diretamente ligados ao transporte de cargas e à condução para fins profissionais nos dias de semana. Quando se abordam todos os veículos, incluindo os automóveis, essa tendência parece se inverter como destacado por Massaro (2018) na malha rodoviária da região central de São Paulo. A autora encontrou uma média 55% maior de acidentes (todas as categorias de veículos) nos fins de semana (sexta, sábado e domingo) em relação aos outros dias,

associando-os com bebidas, festas, e também com a presença de “motoristas de fins de semana”, pouco acostumados com o tráfego rodoviário.

Destaca-se também na Figura 17 que as sextas-feiras tiveram o pico de acidentes, cerca de 25% acima da média dos outros dias da semana. Dia este que já apresenta um maior volume de veículos nas rodovias, maior número de motoristas imprudentes o que pode corroborar com o encontrado por Massaro (2018) para a malha de São Paulo.

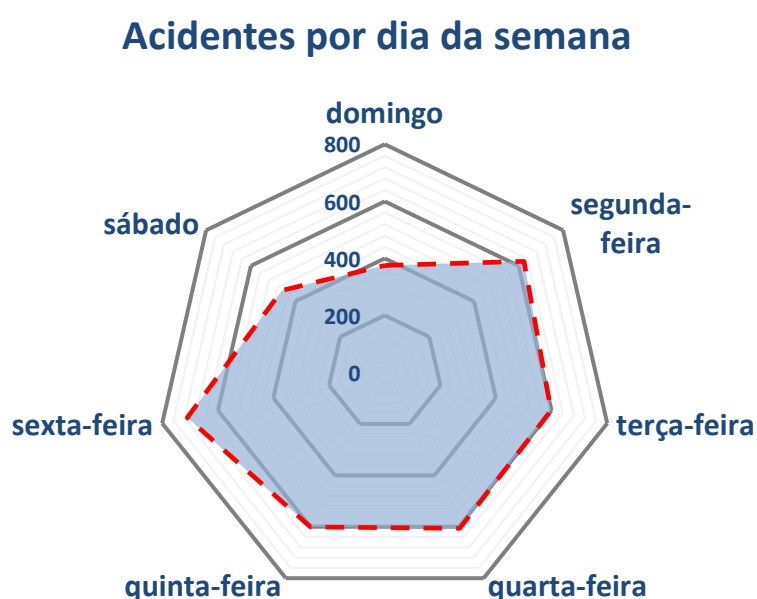


Figura 17: Acidentes por dia da semana.
Fonte: BRASIL (2019). Elaboração do autor.

Dentro do período de 24 horas os acidentes tenderam a se distribuir com maior intensidade em alguns horários específicos. De acordo com a Figura 17, que engloba todos os acidentes do estudo, a maior parte deles se concentra no período da manhã entre 6h e 8h, e depois pelo período da tarde entre às 16:00 e 18:00. Esses horários coincidem com os horários de *rush*, que aumentam o volume de veículos nas vias e aumentam os riscos principalmente ao final do dia quando muitos motoristas estão retornando cansados após o dia de trabalho. Picos em horários semelhantes também foram encontrados por Plug et al (2011) e Erdogan *et al.* (2008).

Acidentes por Horário

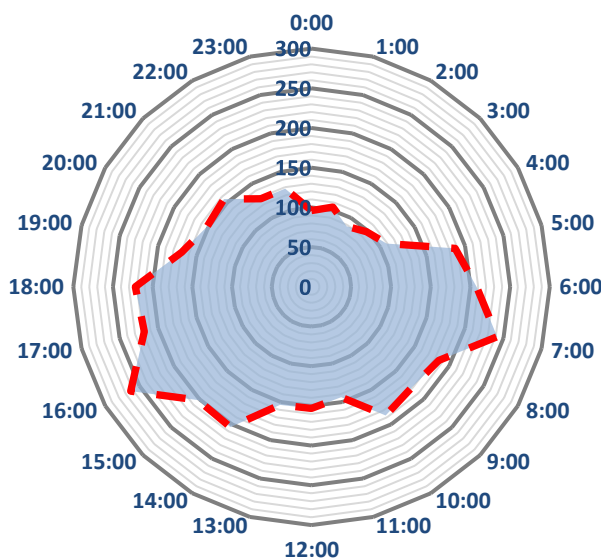


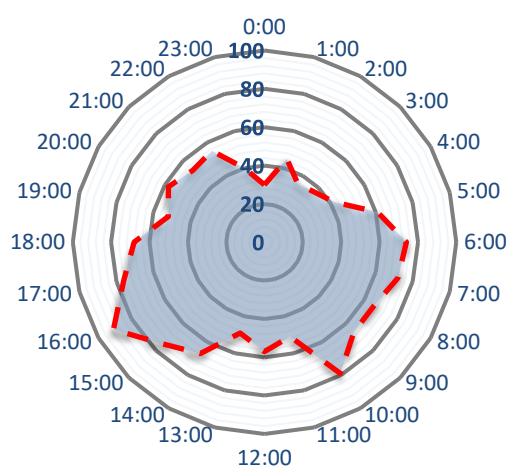
Figura 18: Acidentes por horário.
Fonte: BRASIL (2019). Elaboração do autor.

Apesar da visão global indicada na figura anterior, entende-se a importância da avaliação dos dados a partir dos diferentes graus de severidade para compreender melhor como se distribuem ao longo do dia. Na Figura 19, por exemplo, os acidentes foram desmembrados em quatro categorias e permitem a visualização de uma tendência interessante em relação à figura anterior. Na Figura 19(a) a tendência geral parece continuar, com picos ao redor de 7:00 (com uma presença maior às 10:00) e às 16:00 de acidentes sem vítimas. Quando se aumenta em um nível de severidade (Figura 19(b)), para os com vítimas leves, o *spiderplot* começa a mudar a forma e sofrer um alargamento para as laterais, mas ainda mantendo uma predisposição aos horários de *rush*. Na Figura 19(c), ao se abordar os acidentes com vítimas graves, claramente a propensão geral muda e o gráfico sofre um espalhamento. Picos no horário noturno ao redor 21:00 surgem e essa modificação nos *spiderplots* se confirma no último quando se abordam os acidentes fatais.

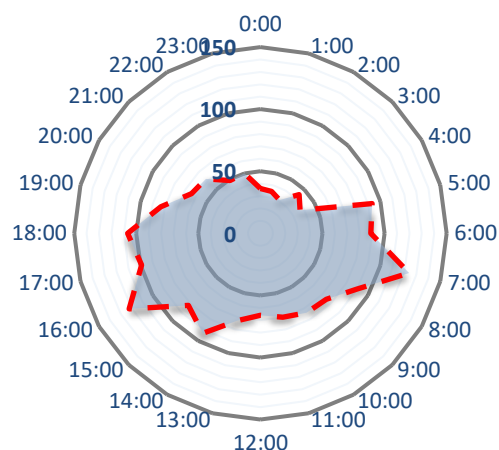
Na Figura 19(d) o pico com maior número de acidentes fatais ocorre entre 23:00 e 00:00, assim como uma distribuição também em horários como 4:00 e 6:00 da manhã. Acidentes nesses períodos costumam ter uma maior gravidade, os

motoristas tendem a estar mais cansados, menos atentos, com menor visibilidade e com excesso de velocidade, já que o volume de veículos da via é menor. Essas conclusões também foram constatadas por Dabalo (2020), que estudando acidentes de trânsito na Etiópia verificou, que os números de acidentes fatais foram 34% superiores no período noturno. Resultados com maior severidade nesses horários também foram encontrados por Le *et al.* (2019) em Hanoi, Vietnã.

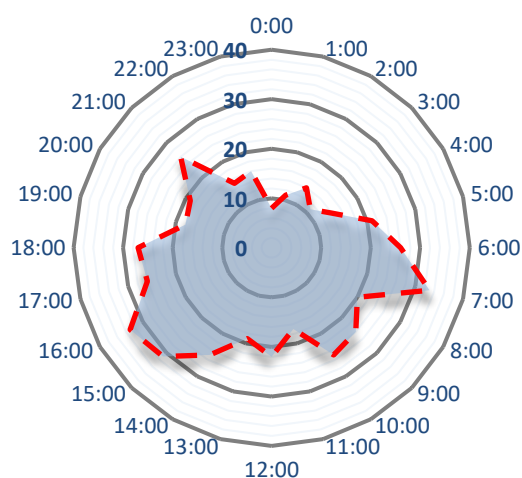
a) Acidentes Sem Vítimas



b) Acidentes com Vítimas Leves



c) Acidentes com Vítimas Graves



d) Acidentes com Mortes

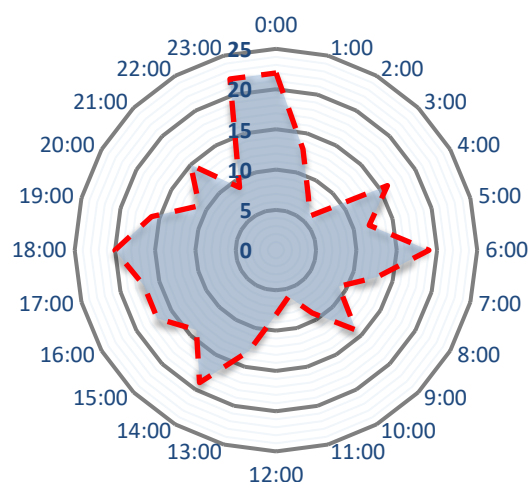


Figura 19: Gravidade dos acidentes por horário.
Fonte: BRASIL (2019). Elaboração do autor.

6.3 Estimativa de Densidade de Kernel (KDE)

Como exposto anteriormente, um método bem estabelecido para uso na identificação de padrões espaciais é a Estimativa de Densidade de Kernel (Kernel Density Estimation – KDE), que calcula a densidade de eventos em torno de cada ponto, dimensionado pela distância do ponto a cada evento. O KDE descreveu um mapa de superfície contínua e uniforme. Complementarmente, esse método também teve a vantagem de compensar uma escassez de dados. O padrão de ponto tem uma densidade distribuída no local e não apenas no ponto exato onde o evento ocorre (ESRI, 2019). Na Figura 20 foi elaborado em SIG o KDE para os pontos de acidentes na área de estudo e, para efeitos de visualização, foram feitos em mapas separados para cada ano.

Na Figura 20²⁷ pode se identificar que maior volume de acidentes se concentra próximos à região metropolitana do Rio de Janeiro, nos municípios de Rio de Janeiro, São João de Meriti, Duque de Caxias, Nova Iguaçu, Itaboraí e Niterói. A Região Metropolitana concentra a capital, infraestrutura e mão-de-obra, formando o maior parque industrial do estado. Com cerca de 70% da população estadual reúne também serviços de setores financeiro, comercial, educacional e de saúde, assim como órgãos e instituições públicas (CEPERJ, 2019).

Outra região de destaque é a do Médio Paraíba, que depois da Metropolitana, é a mais industrializada do Estado do Rio de Janeiro, destacando-se o eixo Volta Redonda, Barra Mansa e Resende.. A área industrial requer contínuo transporte de cargas em uma região urbana cortada pelas BR-116, BR-393 e BR-494. Dados mostram que os municípios de Barra Mansa e Pirai lideraram também o ranking de infrações de trânsito em 2015 com 30% e 26%, respectivamente, das infrações na região do Médio-Paraíba (DETRAN-RJ, 2016).

²⁷ Foi utilizado o método de agrupamento *natural breaks (jenks)*, separa as categorias de valores com intuito de maximizar a diferenciação entre classes (Plug *et al.*, 2011; Choudhary *et al.*, 2015). Os valores do KDE de 2019, 2018 e 2017 ficaram entre 0-4.36; 0-3.17 e 0-6.23, respectivamente.

Legenda

- Rodovias Federais
- Regiões de Governo
- Limites estaduais

Estimativa de Densidade Kernel

- Sem informação
- Muito baixo
- Baixo
- Médio
- Alto
- Muito alto

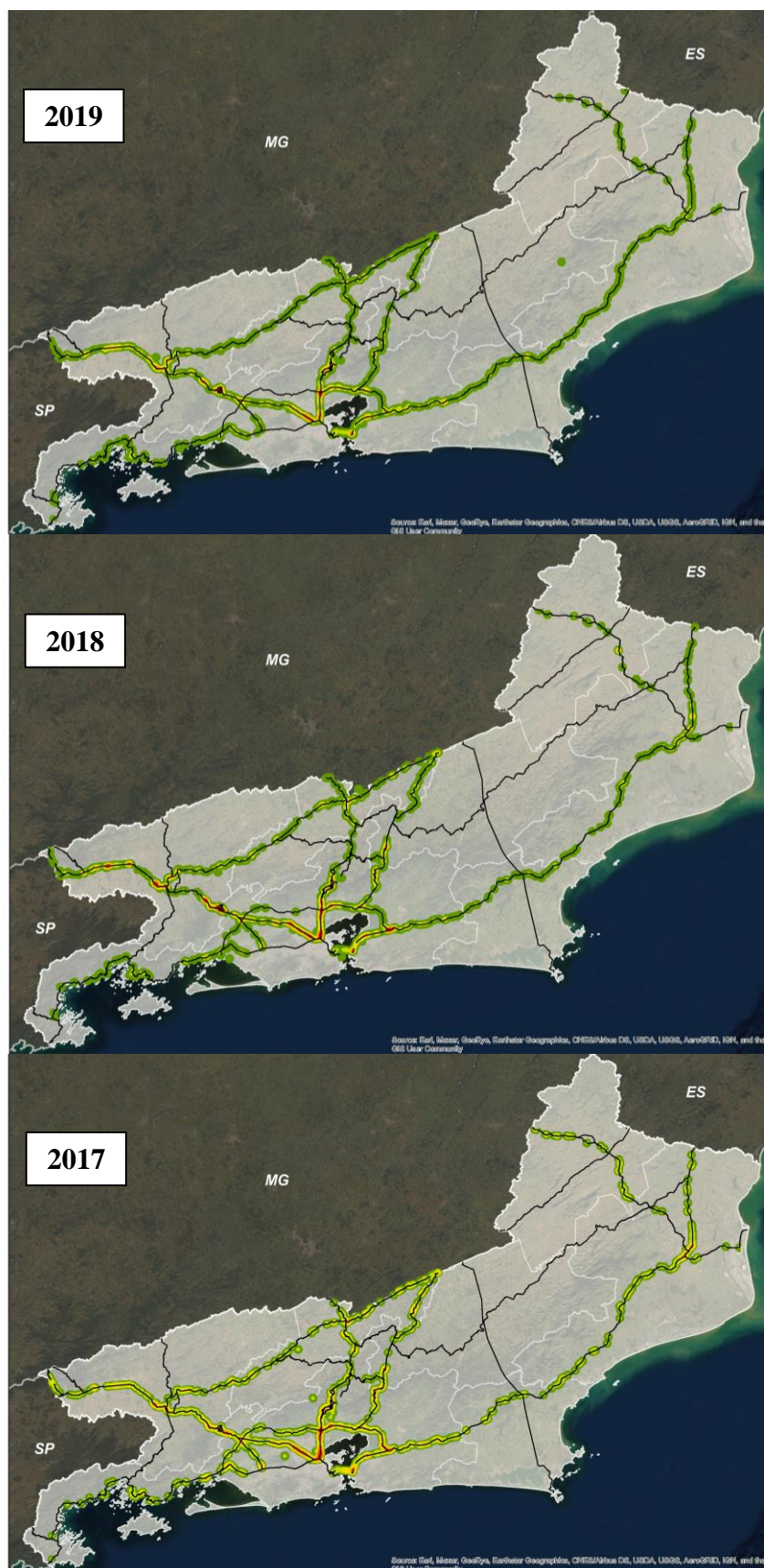


Figura 20: Estimativa de Densidade de Kernel por ano.
Fonte: Elaboração do autor.

Famili *et al.* (2018) fizeram um estudo utilizando KDE em SIG para identificar concentrações de acidentes de trânsito com envolvimento de pedestres na Carolina do Sul (EUA). Os autores também identificaram zonas com alta tendência a acidentes concentradas próximas às principais áreas urbanas da Carolina do Sul. Considerou-se que o nível mais alto de interações de tráfego da área urbana gera mais problemas de segurança viária e o nível de risco tende a diminuir conforme as rodovias se estendem para fora da vizinhança das áreas urbanas. O que parece também se repetir quando vemos o resultado do KDE no Rio de Janeiro.

Harirforoush *et al.* (2019) realizaram um estudo em SIG para acidentes de trânsito, dividindo em quatro mapas de acordo com a estação do ano em Sherbrook (Canadá). Em segundo lugar, um peso foi atribuído a cada acidente observado com base em sua gravidade. Em terceiro lugar foi calculada o KDE de acidentes de trânsito, usando contagens de acidentes e com base na gravidade dos mesmos. Então, os resultados numéricos de KDE (com e sem gravidade) foram utilizados no Índice de Moran(I) Local. Comparado a este trabalho, os autores utilizaram duas das mesmas análises, mas conectando as duas em uma só análise, demonstrando outras possibilidades metodológicas possíveis.

Anderson (2007), comparando diferentes metodologias de identificação de *hotspots* de acidentes de trânsito em Londres, cita que se a intenção é empreender apenas dados de acidentes para a análise de *hotspots*, então outros métodos podem ser mais adequados do que o KDE. No entanto, afirma que o KDE permite uma melhor compreensão visual e a integração de conjuntos de dados suplementares sobre o ambiente rodoviário.

Hashimoto *et al.* (2016) examinaram a aplicabilidade do KDE para acidentes de trânsito também em modelos de predição nas cidades de Toyota e Okayama no Japão. Os resultados mostraram correlação forte entre o número previsto e o número real e concluem que modelos de predição com KDE podem ter potencial e serem aplicáveis a outras cidades, com números de acidentes menores ou maiores.

A densidade de Kernel tem sido utilizada, de igual forma, para análise de acidentes dentro de centros urbanos. No Brasil, a literatura é escassa sobre o assunto, mas pode se ressaltar o estudo de Matsumoto & Flores (2012) que analisou

os acidentes de trânsito ocorridos na cidade de Presidente Prudente - SP. Os autores realizaram diferentes KDEs na cidade para os períodos de madrugada, dia e noite, de forma a gerar mapas que permitissem ampliar o entendimento de como o volume de acidentes se comportava no município espacial e temporalmente.

No Rio de Janeiro a literatura é mais limitada ainda, entretanto, pode-se destacar trabalho de Souza *et al.* (2008) que utilizou o KDE para analisar a distribuição espacial dos óbitos em acidentes de trânsito no município do Rio de Janeiro a partir de três localidades diferentes: residência da vítima, local de ocorrência do acidente e local de ocorrência do óbito, em nível de setor censitário. Os autores concluíram que há diferença nos padrões espaciais em todos os três. Na zona norte do município se concentraram mais as colisões (alta densidade de acidentes também verificada na Figura 20 nessa região, no encontro das BR 116 e 040 nos três anos) e a população vítima desses acidentes residem também na zona norte e parte na zona oeste do município do Rio de Janeiro. Adicionalmente, as colisões apresentaram um padrão espacial, seguindo as principais vias da cidade, enquanto os atropelamentos foram mais frequentes no centro da cidade, sugerindo que há uma relação entre esta ocorrência e o fluxo de pessoas no local.

Mesmo possuindo grande utilidade para estudos viários, o KDE também possui limitações, as quais foram encontradas neste trabalho e também por outros autores:

- Não há métodos claros e rápidos para determinar o melhor raio de busca de investigação no KDE, autores ainda precisam fazer uma análise de sensibilidade com diferentes raios para otimização (HARIRFOROUSH *et al.*, 2019; DABALO, 2020);
- Falta de significância estatística da alta densidade (*hotspot*) e locais de baixa densidade (*coldspots*) (DABALO, 2020).

Para complementar o estudo, a seguir serão apresentados os resultados referentes às análises estatísticas espaciais feitas em SIG utilizando-se os índices Global e Local de Moran.

6.4 Estatísticas Espaciais

6.4.1 Incidência

Para execução do Índice Global de Moran (I) para a incidência de acidentes no SIG, primeiramente, tornou-se necessário realizar a agregação dos eventos de acidentes. A Figura 21 demonstra o *output* resultante da aplicação das ferramentas descritas ao longo do Capítulo 4. Os eventos ficaram agregados de acordo com a quantidade de eventos sobrepostos sobre um determinado raio de abrangência. Essa visualização a olho nu não é muito facilitada, entretanto, é o *input* necessário nessa etapa para geração da autocorrelação espacial com o Moran (I) Global.

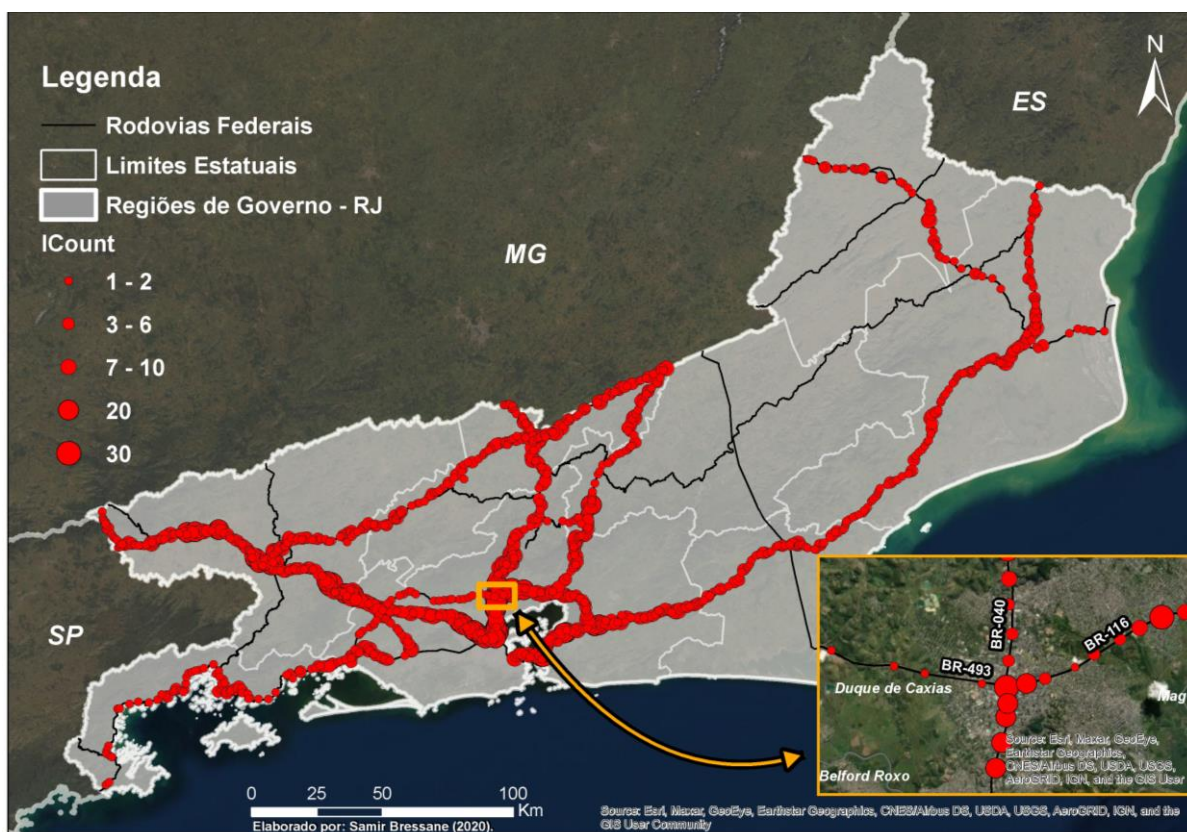


Figura 21: Mapa com agregação de acidentes, gerando o ICount.

Fonte: Elaboração do autor.

O resultado gerado, entretanto, pode ser verificado no relatório presente na Figura 22. Este relatório, retirado integralmente do SIG, informa a autocorrelação

especial dos eventos para toda a área, se estes estão dispostos de forma Dispersa, Aleatória ou Agrupada (*Cluster*). O *Z-score* e o Índice de Moran encontrados foram de aproximadamente 17,14 e 0,38, respectivamente, o que por sua vez permite concluir que os eventos apresentam forte autocorrelação espacial. O *P-score* < 0,01, como mencionado anteriormente, informa que essa avaliação possui uma significância estatística superior a 99% (Figura 22).

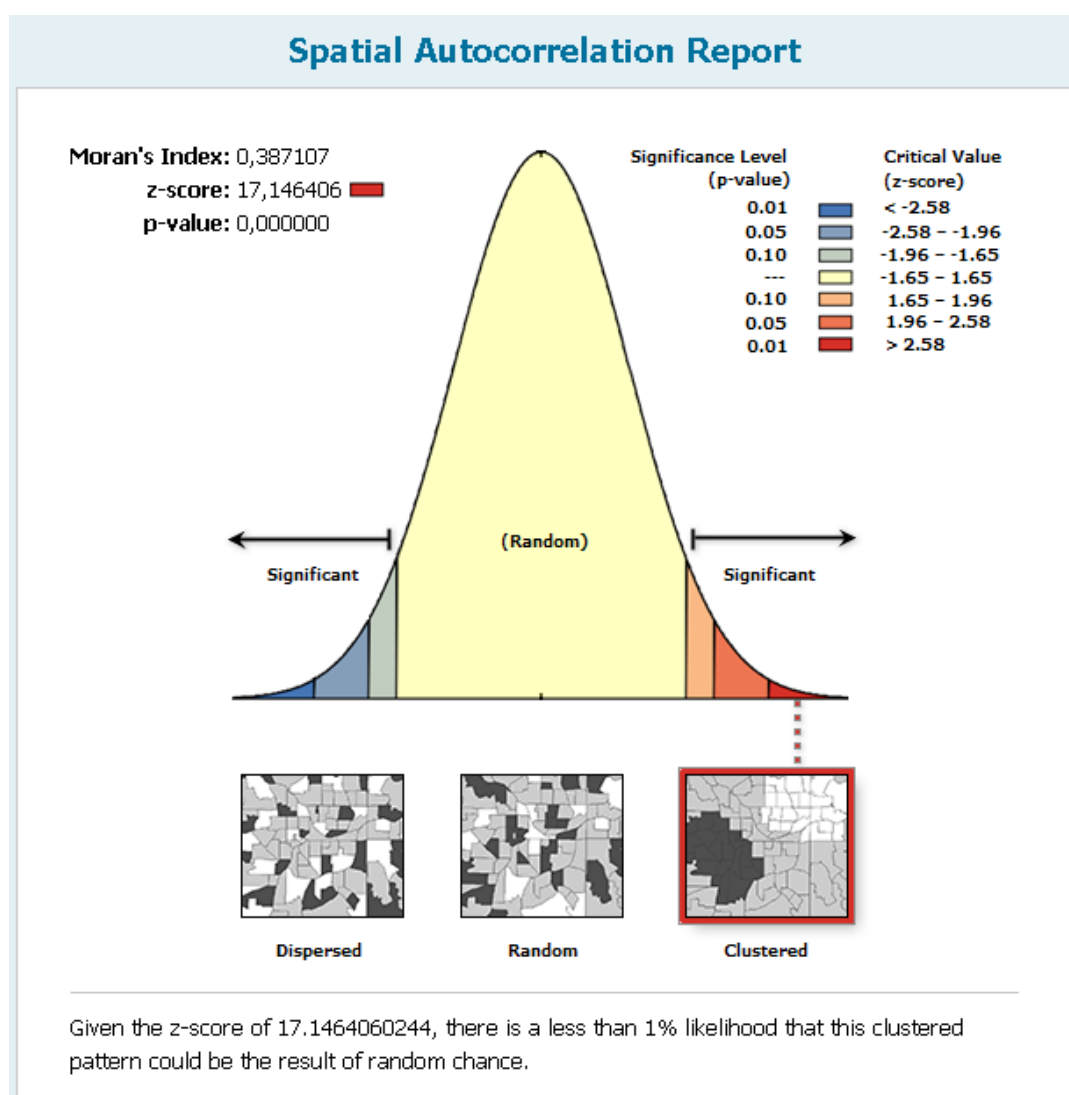


Figura 22: Relatório de Autocorrelação Espacial da Incidência de acidentes.
 Fonte: Elaboração do autor.

Após a análise global de autocorrelação espacial feita anteriormente foi necessário verificar localmente como estão distribuídos os acidentes. A utilização

do ‘Índice de Moran (I) Local’ teve como resultado os *hotspots*, *coldspots* e *outliers*. Nessa análise local, os valores que são obtidos pelo relatório global (‘Índice de Moran’, ‘*P-score*’ e ‘*Z-Score*’) são obtidos para cada ponto crítico (*cluster*) identificado dentro da sua tabela de atributos no SIG. Na Figura 23 pode-se identificar destacados os *clusters* “High-High”, ou seja, apenas as altas concentrações de números altos de acidentes por serem os mais críticos ($P\text{-score} < 0,01$ e $Z\text{-score} > 2,58$). Foram encontrados 66 *hotspots* que atendiam a esses requisitos (Figura 23). Como o atributo utilizado na análise foi o *ICount*, proveniente do mapa da Figura 21, esses *hotspots* são baseados em valores de incidência de acidentes.

Constata-se que os pontos críticos de incidência de acidentes localizam-se em áreas semelhantes às áreas de alta densidade de acidentes no KDE da Figura 20. A diferença é que após o Moran (I) Local, existe um maior refino, maior exatidão e significância estatística dos *hotspots* apresentados. Um exemplo dessa localização mais definida está no excerto feito (Figura 23) em trecho de encontro das rodovias BR-040, BR-101 e BR-116 entre os municípios de Duque de Caxias e Rio de Janeiro. Seis pontos críticos de acidentes foram registrados nesse trecho da região metropolitana do Rio de Janeiro.

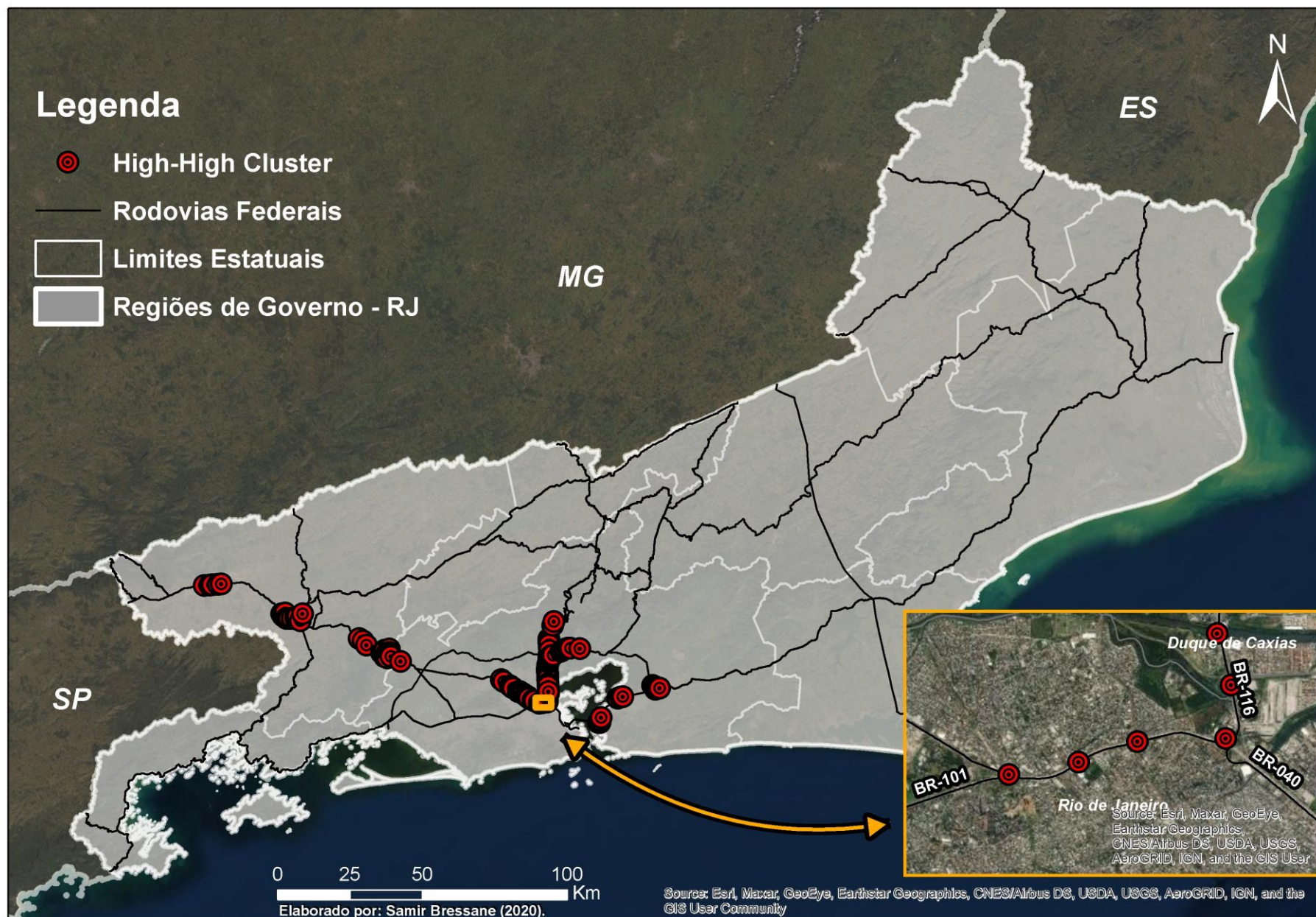


Figura 23: Hotspots High-High do Local Moran (I) para Incidência dos acidentes.

Fonte: Elaboração do autor.

Tortum & Atalay (2015) propuseram análise espacial para mortalidades em acidentes de trânsito usando SIG, baseada no número de acidentes em cada província da Turquia. Para isto utilizam também o ‘Índice de Moran (I) Local’ para identificarem os *clusters* “High-High”. Três principais diferenças separam o trabalho desses autores para este trabalho: 1) Foco apenas na mortalidade dos acidentes; 2) Uso de múltiplas análises de regressão para incorporar outras variáveis (população, extensão das vias, ...); 3) Os acidentes foram agrupados por província antes do processamento no SIG do Moran (I) Local. O ponto 2 apresenta-se como um complemento interessante a esse tipo de análise, enquanto o ponto 3 estabelece-se como uma necessidade devido à carência de coordenadas geográficas de qualidade. Para isso os autores precisaram unir os acidentes por província, ou polígono, (sistemática também usada por Erdogan [2009]), de forma semelhante ao explicitado na Figura 13, do Capítulo 4. Outras conclusões pertinentes encontradas pelos autores foram que o gradiente, curvatura, largura da pista, iluminação, listras e a sinalização de uma estrada contribuíram para a probabilidade e gravidade dos acidentes.

Importante detalhe a citar é que Harirforoush et al (2019), já mencionados anteriormente, utilizaram os valores de densidade do *output* do KDE como atributo de *input* para o ‘Índice de Moran (I) Local’. Já Prasannakumar *et al.* (2011), fizeram o inverso, porém com uma ferramenta semelhante de autocorrelação local, Getis Ord Gi*, que obtém como resultado o *GiZ-Score*. Com esse valor os autores fizeram um mapa de KDE para visualizar a densidade em uma superfície interpolada tanto dos *coldspots* quanto dos *hotspots*. Nota-se como grandes as possibilidades de diferentes metodologias para processamento e obtenção de pontos críticos de acidentes de trânsito com sistemas de informação geográfica, mesmo podendo obter resultados similares.

Budiharto & Saido (2012) mostram um viés diferente das metodologias aqui apresentadas e ampliam as formas de se utilizar autocorrelação espacial em SIG para acidentes de trânsito. Eles utilizam o ‘Índice de Moran (I) Local’ para identificar os pontos mais críticos de acidentes e em seguida comparam espacialmente com a estrutura atual de hospitais e pontos de atendimento de emergência. Com o intuito de auxiliar os gestores públicos, tanto com a localização concentrada dos acidentes, como também sugestões para melhorar a organização

do atendimento rápido e eficaz às vítimas. Sendo este um fator essencial para evitar que acidentes graves se tornem acidentes fatais.

O ‘Índice de Moran (I) Local’ também tem sido cada vez mais utilizado para identificação de pontos críticos de acidentes de trânsito, destaca-se os trabalhos de: Erdogan (2009), Moons *et al.* (2009), Yamada & Thill (2010), Agyakwah (2018).

6.4.2 Severidade

O resultado gerado para o Índice Global de Moran (I) para Severidade foi o relatório presente na Figura 24. Este relatório informa a autocorrelação espacial da severidade dos eventos para toda a área, se estes estão dispostos de forma Dispersa, Aleatória ou Agrupada (*Cluster*). O *Z-score* e o índice de Moran encontrados foram de aproximadamente 3,05 e 0,04, respectivamente. Estes resultados permitem concluir que os eventos possuem autocorrelação espacial (menos intensa do que a de Incidência de acidentes). O *P-score* $< 0,01$ informa que essa avaliação possui uma significância estatística superior a 99% (Figura 24). Aqui se percebe, pelas variáveis encontradas, que a severidade dos acidentes é menos concentrada (*clusterizada*) e mais dispersa para veículos pesados no Estado do Rio de Janeiro do que os a incidência dos mesmos.

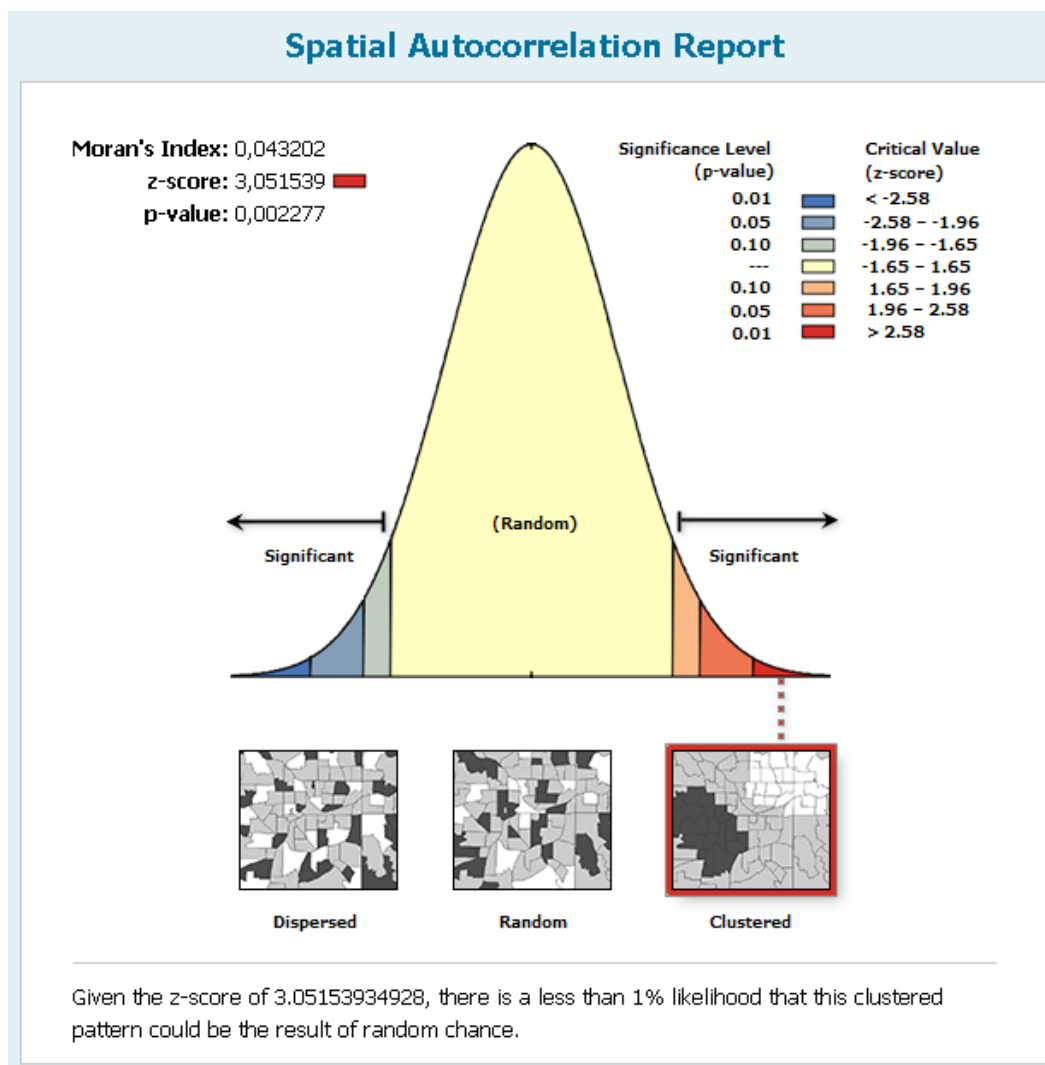


Figura 24: Relatório de Autocorrelação espacial da Severidade dos acidentes.

Fonte: Elaboração do autor.

Conclusões prévias a partir dos valores do relatório global foram confirmadas com as análises dos índices locais. Os *hotspots* identificados estavam mais dispersos pelo mapa e demonstraram que condições diferentes afetam os acidentes de acordo com sua severidade e sua incidência. Foram encontrados 97 pontos críticos “High-High” (Figura 25). Foi destacado também um trecho da BR-116 entre as regiões Metropolitana (Guapimirim) e a Serrana (Teresópolis), aonde pôde-se identificar 6 *hotspots* de acidentes com alta severidade. Esses pontos se encontram em uma região de serra com muitas curvas bruscas, o que torna ainda mais perigoso e arriscado para veículos pesados.

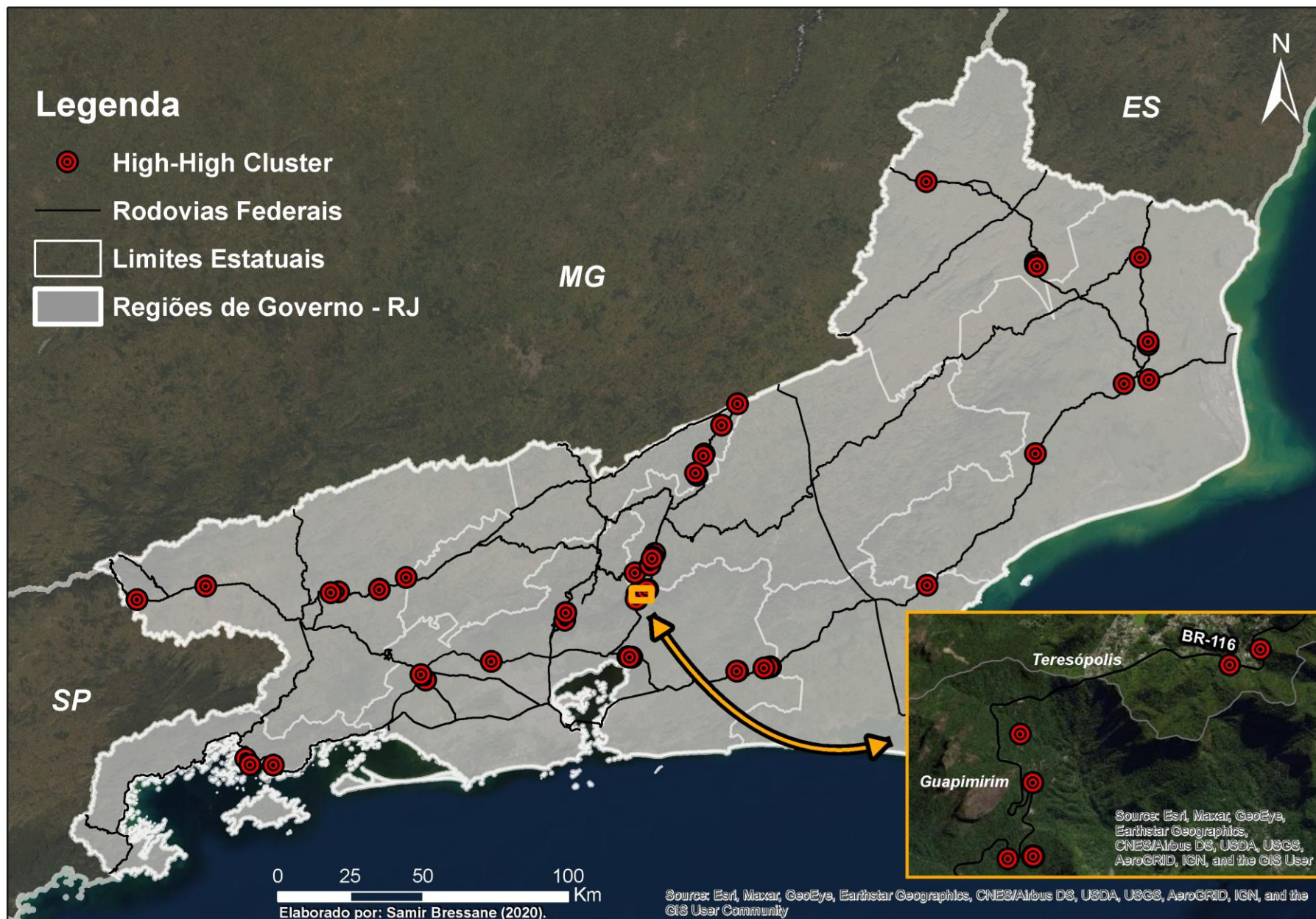


Figura 25: Hotspots “High-High” do Índice de Moran (I) Local para Severidade dos acidentes.
Fonte: Elaboração do autor.

Além destes fatores topográficos que podem implicar no maior potencial de acidentes, deve-se considerar os aspectos climáticos e a sua respectiva distribuição regional. No Estado do Rio de Janeiro, os maiores índices pluviométricos médios anuais encontram-se na divisa da região Metropolitana e das Baixadas Litorâneas com a região Serrana, onde a precipitação varia entre 2.500 e 2.800 mm. Somente no verão, a região Serrana e proximidades já acumulam toda a chuva que se precipita em um ano inteiro na região dos Lagos (SILVA & DEREZYNSKI, 2014). Tal cenário favorece ainda mais situações de riscos em regiões de serra para os veículos de carga. Chuvas excessivas são conhecidas por serem um dos principais fatores contribuintes para acidentes com veículos pesados, juntamente com curvas fechadas (PANCARY, 2007). A região serrana do Rio de Janeiro apresenta características intrínsecas que podem agravar os riscos de acidentes de trânsito com alta severidade.

Um relatório do IPR (Instituto de Pesquisas Rodoviárias) (2009) avaliou acidentes rodoviários em Bitrens no Brasil. O estudo demonstra uma carência nos dados de boletins de ocorrência da PRF, os quais deveriam incluir informações que permitam caracterizar os acidentes com CVCs, em separado dos acidentes com os demais veículos de carga. Informações como número de eixos da composição proporcionaria estudos mais aprofundados sobre os acidentes com veículos pesados. Subsidiaria também estudos da influência dos tipos de veículos de carga com o projeto geométrico da rodovia (interseções e curvas de pequeno raio de curvatura), situações que o relatório considerou como mais crítico.

6.5 Método DENATRAN (1987)

6.5.1 Taxa de Acidente

Após a organização dos acidentes e cálculos das taxas na metodologia do DENATRAN (1987), foram obtidos os resultados das taxas para todos os trechos das rodovias. Como a lista é extremamente longa (uma linha por km por rodovia), essa pesquisa optou por demonstrar os 20 trechos com as maiores taxas para representação e discussão do método. As ‘Taxas de Acidente’ encontradas para os vinte trechos mais críticos variaram entre 2,88 e 7,89 (Tabela 4).

Os três trechos com as maiores 'Taxas de Acidente' estão no início da BR-493, no município de Itaboraí, próximo à intersecção com a BR-101. Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT)²⁸ restringe o tráfego de veículos de carga na Ponte Rio - Niterói de acordo com a quantidade de eixos. Caminhões "toco" (dois eixos) estão proibidos de passar pela Ponte das 4h às 10h da manhã, no sentido Rio de Janeiro, de segunda a sexta-feira, enquanto os "truck" (três ou mais eixos) não podem transitar na rodovia das 4h às 22h, em ambos os sentidos e dia da semana. Devido a essas proibições, muitos veículos pesados que passariam pela ponte precisam dar a volta, passando por Magé e Itaboraí na BR-493, para poderem pegar a BR-101 e seguir em direção à Baixada Litorânea ou Norte Fluminense. Esse risco para a região, devido ao contorno necessário para os veículos pesados, também foi destacado por Strauch (2004).

A BR-493 também possui um volume total de tráfego menor do que as outras rodovias analisadas, isso faz com que as Taxas tendam a ser mais altas. Essa característica é vista como uma vantagem (BRANDÃO, 2007) na metodologia, pois leva em conta a influência do volume veicular no nível de acidentes. Entretanto, a taxa de acidente considera apenas a incidência e não agrega a dimensão de severidade dos acidentes.

²⁸ Resolução nº 2294 de 19/09/2007 / ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres (D.O.U. 24/09/2007).

Tabela 4: Top20 Taxa de Acidentes (Acidentes/Milhão de veículos x km).

Fonte: Elaboração do autor.

| Taxa de Acidente | BR | km inicial | km final | Extensão (km) | S/V | C/V | C/O | UPS | VMD |
|------------------|------------|----------------|------------|---------------|-----|-----|-----|-----|---------|
| 7.89 | <u>493</u> | <u>0.001</u> | <u>1</u> | 0.999 | 1 | 8 | 0 | 41 | 1042.87 |
| 7.89 | <u>493</u> | <u>3.001</u> | <u>4</u> | 0.999 | 6 | 3 | 0 | 21 | 1042.87 |
| 7.01 | <u>493</u> | <u>1.001</u> | <u>2</u> | 0.999 | 2 | 6 | 0 | 32 | 1042.87 |
| 6.14 | <u>493</u> | <u>4.001</u> | <u>5</u> | 0.999 | 3 | 3 | 1 | 31 | 1042.87 |
| 5.63 | <u>354</u> | <u>14.001</u> | <u>15</u> | 0.999 | 3 | 1 | 1 | 21 | 811.5 |
| 5.26 | <u>493</u> | <u>18.001</u> | <u>19</u> | 0.999 | 0 | 5 | 1 | 38 | 1042.87 |
| 4.52 | <u>465</u> | <u>2.001</u> | <u>3</u> | 0.999 | 1 | 6 | 1 | 44 | 1618 |
| 4.38 | <u>493</u> | <u>2.001</u> | <u>3</u> | 0.999 | 1 | 4 | 0 | 21 | 1042.87 |
| 3.95 | <u>465</u> | <u>21.001</u> | <u>22</u> | 0.999 | 2 | 5 | 0 | 27 | 1618 |
| 3.70 | <u>40</u> | <u>108.001</u> | <u>109</u> | 0.999 | 9 | 17 | 1 | 107 | 6665.5 |
| 3.70 | <u>40</u> | <u>121.001</u> | <u>122</u> | 0.999 | 7 | 20 | 0 | 107 | 6665.5 |
| 3.51 | <u>493</u> | <u>16.001</u> | <u>17</u> | 0.999 | 0 | 2 | 2 | 36 | 1042.87 |
| 3.51 | <u>493</u> | <u>9.001</u> | <u>10</u> | 0.999 | 0 | 3 | 1 | 28 | 1042.87 |
| 3.51 | <u>493</u> | <u>8.001</u> | <u>9</u> | 0.999 | 1 | 2 | 1 | 24 | 1042.87 |
| 3.39 | <u>465</u> | <u>19.001</u> | <u>20</u> | 0.999 | 1 | 5 | 0 | 26 | 1618 |
| 3.39 | <u>465</u> | <u>1.001</u> | <u>2</u> | 0.999 | 1 | 3 | 2 | 42 | 1618 |
| 3.38 | <u>354</u> | <u>25.001</u> | <u>26</u> | 0.999 | 1 | 2 | 0 | 11 | 811.5 |
| 3.10 | <u>393</u> | <u>151.001</u> | <u>152</u> | 0.999 | 6 | 4 | 0 | 26 | 2947.83 |
| 3.02 | <u>40</u> | <u>112.001</u> | <u>113</u> | 0.999 | 6 | 16 | 0 | 86 | 6665.5 |
| 2.88 | <u>40</u> | <u>120.001</u> | <u>121</u> | 0.999 | 5 | 16 | 0 | 85 | 6665.5 |

6.5.2 Taxa de Severidade

As Taxas de Severidade encontradas para os vinte trechos mais críticos variaram entre 14,67 e 35,94. Muitos dos trechos da BR-493 também se repetiram, com a adição de alguns trechos localizados mais nas regiões Norte e Noroeste Fluminense (BR-101 e BR-356, respectivamente).

Schmitz (2011), por sua vez, utilizou a metodologia do DENATRAN (1987), estudando a BR-285 (RS), e encontrou valores próximos, entre 22,24 e 38,9

(Tabela 5). Além disso, identificou o envolvimento de veículos pesados, principalmente caminhões, em cerca de 22% dos acidentes de trânsito. A autora destacou que as rodovias brasileiras agregam grandes volumes de veículos pesados, comparado à realidade de países desenvolvidos, já que estes possuem uma logística de intermodalidade para o transporte de cargas, a qual envolve mais de um meio de transporte como o ferroviário. Dessa forma, no Brasil, surgem os problemas de segurança, como desgaste físico do asfalto, tráfego lento em meses de safra e ultrapassagens arriscadas, o que tendem a culminar em acidentes de trânsito graves.

Um estudo do Instituto de Segurança Pública do Rio de Janeiro - ISP (2012), com dados da Polícia Civil (PCERJ), estudou os números de acidentes de trânsito a partir das regiões de abrangência de cada delegacia. Para esse mapeamento também utilizaram a metodologia do DENATRAN (1987) com o intuito de ranquear as regiões de acordo com a Unidade Padrão de Severidade (UPS). Após avaliação, obtiveram regiões classificadas como “muito crítica”, entre elas estava a região também descrita na BR-493 (Tabela 5), representada no trabalho do ISP como a circunscrição da 71ª DP (Itaboraí).

Assim como a Taxa de Acidente, a de Severidade também possui a vantagem de neutralizar a influência do volume veicular no nível de acidentes (Brandão, 2007) e adicionalmente incluir a dimensão dos acidentes mais graves.

Tabela 5: Top 20 Taxa de Severidade (UPS/Milhão de veículos x km).

Fonte: Elaboração do autor.

| Taxa de Severidade | BR | km inicial | km final | Extensão (km) | S/V | C/V | C/O | UPS | VMD |
|--------------------|------------|----------------|------------|---------------|-----|-----|-----|-----|---------|
| 35.94 | <u>493</u> | <u>0.001</u> | <u>1</u> | 0.999 | 1 | 8 | 0 | 41 | 1042.87 |
| 33.31 | <u>493</u> | <u>18.001</u> | <u>19</u> | 0.999 | 0 | 5 | 1 | 38 | 1042.87 |
| 31.56 | <u>493</u> | <u>16.001</u> | <u>17</u> | 0.999 | 0 | 2 | 2 | 36 | 1042.87 |
| 28.05 | <u>493</u> | <u>1.001</u> | <u>2</u> | 0.999 | 2 | 6 | 0 | 32 | 1042.87 |
| 27.17 | <u>493</u> | <u>4.001</u> | <u>5</u> | 0.999 | 3 | 3 | 1 | 31 | 1042.87 |
| 24.86 | <u>465</u> | <u>2.001</u> | <u>3</u> | 0.999 | 1 | 6 | 1 | 44 | 1618.00 |
| 24.54 | <u>493</u> | <u>9.001</u> | <u>10</u> | 0.999 | 0 | 3 | 1 | 28 | 1042.87 |
| 23.73 | <u>465</u> | <u>1.001</u> | <u>2</u> | 0.999 | 1 | 3 | 2 | 42 | 1618.00 |
| 23.66 | <u>354</u> | <u>14.001</u> | <u>15</u> | 0.999 | 3 | 1 | 1 | 21 | 811.50 |
| 21.04 | <u>493</u> | <u>8.001</u> | <u>9</u> | 0.999 | 1 | 2 | 1 | 24 | 1042.87 |
| 18.64 | <u>465</u> | <u>3.001</u> | <u>4</u> | 0.999 | 0 | 4 | 1 | 33 | 1618.00 |
| 18.41 | <u>493</u> | <u>3.001</u> | <u>4</u> | 0.999 | 6 | 3 | 0 | 21 | 1042.87 |
| 18.41 | <u>493</u> | <u>2.001</u> | <u>3</u> | 0.999 | 1 | 4 | 0 | 21 | 1042.87 |
| 16.37 | <u>356</u> | <u>64.001</u> | <u>65</u> | 0.999 | 2 | 2 | 3 | 51 | 2847.50 |
| 15.78 | <u>493</u> | <u>17.001</u> | <u>18</u> | 0.999 | 0 | 1 | 1 | 18 | 1042.87 |
| 15.77 | <u>354</u> | <u>7.001</u> | <u>8</u> | 0.999 | 1 | 0 | 1 | 14 | 811.50 |
| 15.28 | <u>101</u> | <u>53.001</u> | <u>54</u> | 0.999 | 1 | 2 | 3 | 50 | 2991.50 |
| 15.25 | <u>465</u> | <u>21.001</u> | <u>22</u> | 0.999 | 2 | 5 | 0 | 27 | 1618.00 |
| 14.69 | <u>465</u> | <u>19.001</u> | <u>20</u> | 0.999 | 1 | 5 | 0 | 26 | 1618.00 |
| 14.67 | <u>40</u> | <u>108.001</u> | <u>109</u> | 0.999 | 9 | 17 | 1 | 107 | 6665.50 |

6.6 Comparação entre as metodologias

O KDE nesta pesquisa demonstrou ser uma ferramenta muito boa para visualização e representação direta de densidades de acidentes. Todavia, ele carece de mais informações e atributos. Percebe-se o KDE como uma boa ferramenta de complemento a outras. Para facilitar a compreensão dos resultados e melhor comparar as outras metodologias, os vinte trechos identificados como mais críticos, na metodologia do DENATRAN (1987), foram mapeados e plotados dentro do

software SIG. Em seguida adicionou-se a este mapa os resultados de vinte *hotspots* encontrados através das análises estatísticas espaciais que possuíam os maiores *Z-score*, variável esta responsável pelo grau de *clusterização* dos dados (Figuras 26 e 27).

A região destacada na Figura 26 (intersecção entre as BR-040 e BR-116) mostra a sobreposição de pontos críticos identificados por ambas as metodologias para incidência de acidentes. Strauch (2004), estudando transporte de produtos perigosos no estado do RJ, analisou 1.694 veículos pesados, aonde 1.592 (93,4%) trafegavam nesta região. O autor destaca o volume de veículos com carga perigosa nessas porções do território fluminense e também caracteriza as vulnerabilidades do meio ambiente do entorno da BR-116 Rio-Teresópolis, que corta 26 cursos hídricos, 7 áreas de conservação e 15 municípios. A partir destas características nota-se que a área se apresenta de maneira muito sensível à degradação e com risco de possíveis contaminações por acidentes e vazamentos de produtos perigosos.

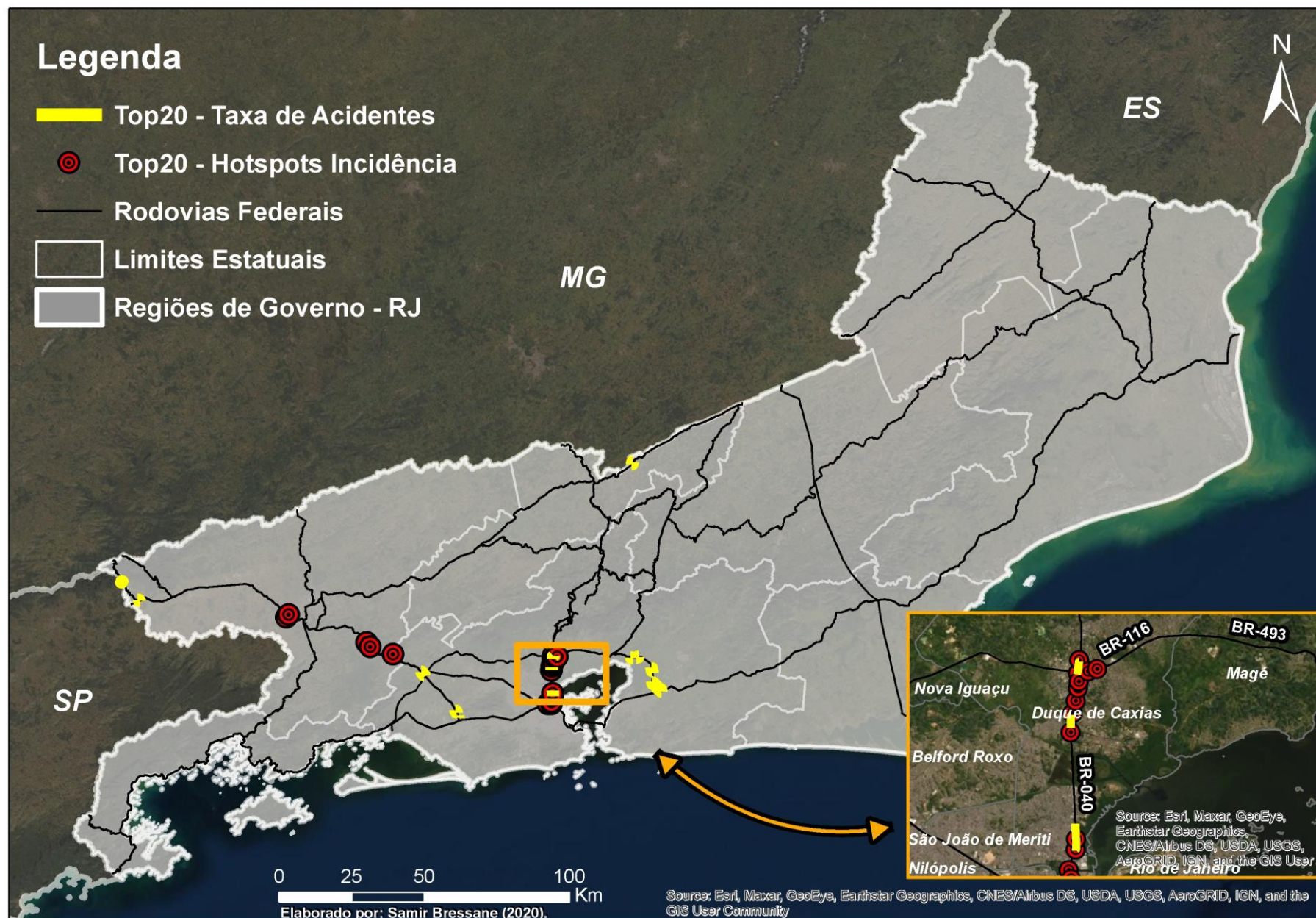


Figura 26: Comparação em SIG do Método Denatran e Hotspots para Incidência de acidentes.
Fonte: Elaboração do autor.

Na Figura 27, comparando-se as metodologias em Severidade, destacou-se trecho da BR-493, em que se concentram e se sobrepõem pontos críticos de ambos os métodos, principalmente devido ao contorno necessário na região (pelas já mencionadas restrições de veículos pesados na ponte Rio-Niterói). A oeste da área destacada também existe outra região de sobreposição de pontos críticos das metodologias: a intersecção entre as BR-465 e a BR-116. Tal região é considerada na literatura como crítica por possuir altos índices de acidentes com veículos pesados transportando produtos perigosos. Sendo mais crítico ainda, para essa categoria de transportes, nos trechos entre os quilômetros 211 e 228 da BR-116, na Serra das Araras. Essa área é caracterizada por possuir indústrias químicas, distribuídas ao longo do eixo rodoviário (Strauch, 2004).

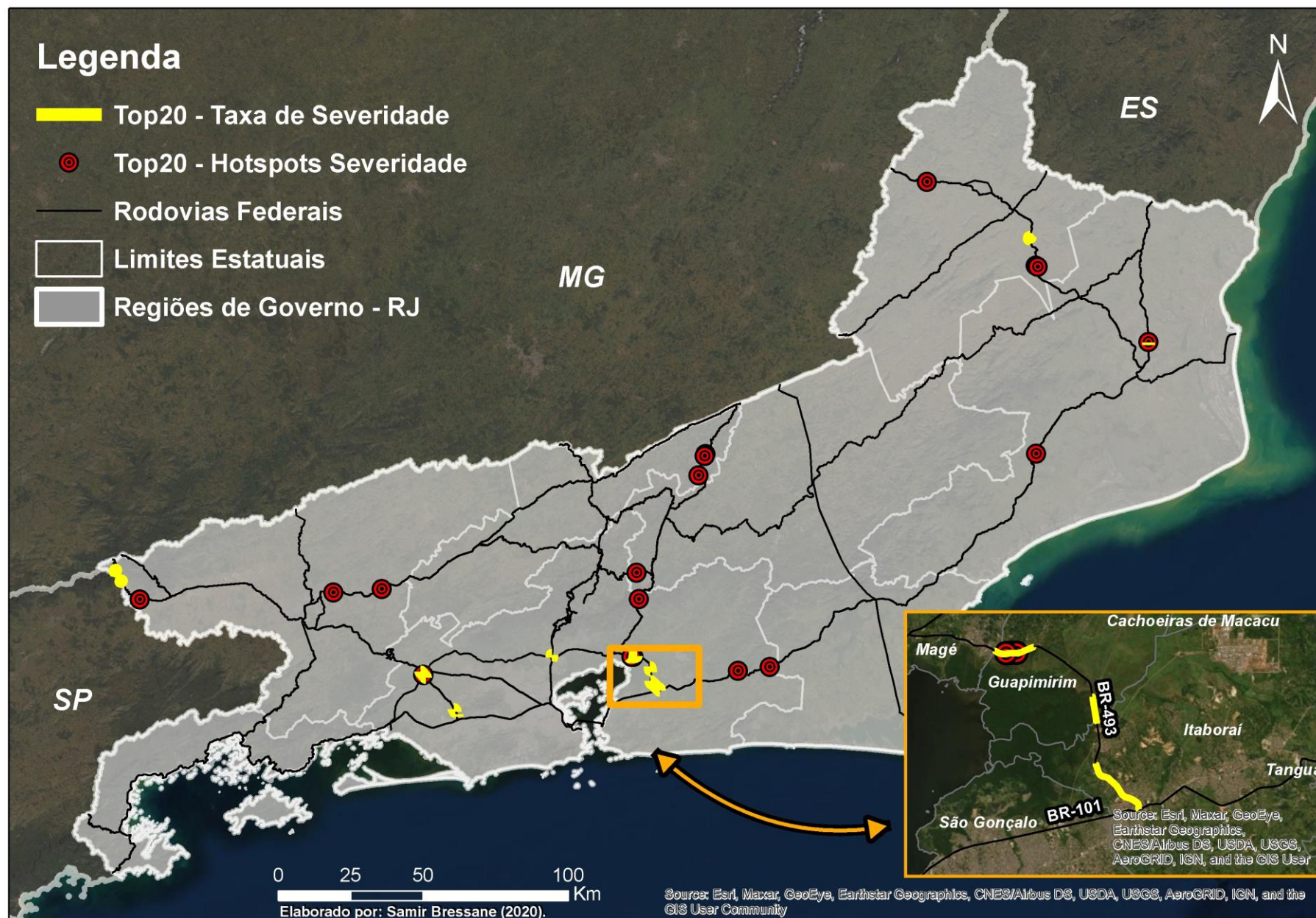


Figura 27: Comparação em SIG do Método Denatran e Hotspots para Severidade de acidentes.
Fonte: Elaboração do autor.

Uma vantagem dos modelos do DENATRAN (1987) ao considerar e balancear os resultados pelo volume de tráfego, também pode ser visto como um fator limitante. O volume parece ser muito significativo no resultado final da metodologia. As estradas com menores volumes médios obtiveram as taxas mais altas, tanto para ‘Taxa de Acidentes’ quanto para ‘Taxa de Severidade’. Isso acarreta que trechos considerados críticos ficaram em seguida do um do outro, em quilometragens próximas (devido ao mesmo valor de VMD). Paro (2009), utilizando metodologia do DNIT com uso também do VMD, ressaltou também a respeito da grande correlação existente entre a definição dos segmentos críticos e o volume de tráfego, a qual de certa forma acaba por tornar críticos, segmentos com um número de acidentes muito baixo. A autora ressalta a necessidade de estudos para compreender esta correlação ou alterar as metodologias nacionais atuais.

Um outro ponto relevante é que a metodologia do DENATRAN (1987) dificulta a análise de acidentes que não ocorrem em trechos formais do eixo principal da via, como acessos, variantes e vias secundárias. Nesse quesito, as análises estatísticas espaciais, que fazem uso de coordenadas geográficas, permitem que o espectro de abrangência seja superior e, muitas vezes, mais preciso. E, por não possuir influência do VMD, obteve-se pontos críticos mais dispersos pelos mapas, independente do seguimento da rodovia.

Vale a pena ressaltar que, mesmo não tendo sido objetos de estudo neste trabalho, após as análises do Índice Moran (I) Local, são obtidos os *coldspots* e *outliers*. Estes, por sua vez, podem trazer informações relevantes sobre a distribuição ou *clusterização* da incidência ou severidade dos acidentes. A metodologia de Análises espaciais em SIG, obteve no total, 66 *hotspots* para Incidência de Acidentes e 97 para Severidade considerados estatisticamente significativos. Por outro lado, a do DENATRAN (1987) consegue obter um resultado numérico (pontuação) para cada trecho, obtendo um ranking completo de todos os trechos de todas as rodovias.

6.7 Outras funcionalidades possíveis para acidentes de trânsito em SIG

As funcionalidades em SIG demonstradas nesta pesquisa para acidentes de trânsito representam pequena parcela das possibilidades de utilização desses sistemas. Os dados da PRF, constantes no Anexo 1 deste estudo, demonstram demais variáveis que podem ser consideradas em futuros estudos.

O registro de informações nesses bancos de dados vai além de apenas coordenadas geográficas. No trabalho de Wolff & Asche (2016) foi empregado o SIG para a identificação de *hotspots* de crimes detectados na cidade de Postdam, na Alemanha. Para uma compreensão instantânea de tais fenômenos espaciais complexos para os tomadores de decisão, as descobertas da análise da cena do crime foram visualizadas não apenas na forma tradicional como mapas bidimensionais, mas também usando um ambiente geovirtual tridimensional. Uma vez que todos esses dados são integrados ao ambiente geovirtual, o usuário é capaz de explorar de forma interativa a região, construções, vegetações, entre outros elementos componentes da paisagem em questão. Esta percepção pode também ser empregada para explorar fatores ambientais que criam regiões de susceptibilidade para a ocorrências de acidentes de trânsito.

Aghajani *et al.* (2017) aplicaram análises LISA, Moran (I) Local e Getis Ord Gi* para identificar *hotspots* na província de Ilam, no Irã. Adicionalmente, eles incluíram na análise um *layer* de precipitação ao mapa e também um TIN²⁹, que permite identificar uma superfície modelada com os valores de elevação em cada trecho do estudo. Essas variáveis são exemplos de atributos que complementam ainda mais os estudos em acidentes de trânsito. Com esses dados, podem ser realizadas análises estatísticas multivariadas, como regressão binomial negativa empregada por Dai & Jaworski (2016) com acidentes de trânsito com pedestres em Atlanta, nos Estados Unidos.

²⁹ *Triangulated Irregular Network* - é comumente uma superfície de elevação que representa os valores de altitude em uma extensão. É usado para modelagem de superfícies, construído usando sistemas de coordenadas projetadas (ESRI, 2019).

Além do uso de bancos de dados na avaliação e análises estatísticas e complexas de informações, o mundo da roteirização e da internet também surgem como grandes oportunidades na utilização de SIGs integrados. O trabalho de Ye *et al.* (2014) avaliou uma abordagem com SIG na produção de *hotspots* para ADAS³⁰ (Sistemas Avançados de Assistência ao Motorista). Os bancos de dados com *hotspots* baseados em históricos de acidentes foram descritos como um componente muito útil para segurança em aplicativos ADAS. Neste estudo, a principal aplicação foi para avisos de segurança em regiões com risco rodoviário muito alto. Os autores destacaram também outra funcionalidade interessante, o PAYD e PHYD³¹, já utilizada por algumas empresas de seguro. São seguros que cobram com base nas milhas dirigidas e no comportamento ao dirigir (velocidade, aceleração, ...). A integração com SIG pode contribuir potencialmente com esses aplicativos para incorporar milhas mais arriscadas ou mais seguras que os motoristas percorreram ou estão viajando. Os autores salientaram as perspectivas de aplicação em plataformas móveis, smartphones, sistemas de telemática veicular etc. Os dados em tempo real podem ser analisados para desenvolver novas formas de compreensão do tráfego.

³⁰ *Advanced Driver Assistance Systems* - sistemas eletrônicos que auxiliam os motoristas nas funções de direção e estacionamento por meio de uso de bancos de dados e uma interface homem-máquina (YE *et al.*, 2014).

³¹ *Pay-As-Your-Drive* e *Pay-How-You-Drive*

7 Considerações Finais

A presente pesquisa discutiu acerca de métodos de identificação de locais críticos de acidentes de trânsito com veículos pesados a partir de dados disponíveis da PRF, no Estado Rio de Janeiro. Levantaram-se métodos consagrados na literatura nacional e utilizados por órgãos governamentais para tal análise. A partir de ferramentas de SIG também se avaliou a viabilidade de utilização de análises estatísticas espaciais na identificação desses pontos críticos de acidentes. Os métodos comentados foram analisados comparativamente, assim como as vantagens e desvantagens da aplicação de cada metodologia.

Após as análises dos acidentes com veículos pesados no Estado do Rio de Janeiro, concluiu-se que o número de acidentes foi maior durante o período do verão (maior índice pluviométrico na região), entre os meses de dezembro e março. Concentrando-se nos dias de semana, com pico nas sextas-feiras, durante o período estudado. A incidência dos acidentes se acumulou nos horários de *rush*, entre 7h e 9h, e 16h e 18h. Enquanto a severidade dos acidentes foi encontrada em maior número no período noturno, entre 23h e 00h.

A estimativa de densidade de Kernel (KDE) tem sido registrada na literatura com frequência. A utilização nesta pesquisa verificou maior densidade de acidentes em dois locais, próximos à Região Metropolitana (municípios de Rio de Janeiro, São João de Meriti, Duque de Caxias, Nova Iguaçu e Itaboraí) e na região do Médio Paraíba que, depois da Metropolitana, é a mais industrializada do Estado do Rio de Janeiro (Piraí, Barra Mansa e Resende), possuindo região urbana cortada pelas BR-116, BR-393 e BR-494. Mesmo com a falta de significância estatística, o KDE se mostra como uma boa forma de representação de dados de acidentes de trânsito.

As análises espaciais em SIG têm sido, gradualmente, mais utilizadas com acidentes de trânsito. Nesta pesquisa, o uso do ‘Índice de Moran (I) Global’, para Incidência de acidentes, demonstrou forte autocorrelação espacial e presença de *cluster* significativos. Na mesma análise, o ‘Índice de Moran (I) Local’ encontrou 66 *hotspots*. Os *hotspots* de Incidência de acidentes localizaram-se em áreas semelhantes (nas regiões Metropolitana e Médio-Paraíba) às áreas de alta densidade no KDE, entretanto, com maior refino, maior exatidão e significância estatística dos

hotspots apresentados. O uso do ‘Índice de Moran (I) Global’ para Severidade mostrou autocorrelação espacial (menor que a Incidência) e presença de *cluster* significativos. Na mesma análise, o índice de Moran(I) Local encontrou 97 *hotspots*. Com presença de alta severidade na região Serrana e outros pontos mais dispersos ao longo de outras regiões do Estado do Rio de Janeiro.

Utilizando a metodologia do Denatran (1987), as Taxas de Acidente encontradas para os vinte trechos mais críticos variaram entre 2,88 e 7,89. As maiores Taxas de Acidente estavam no início da BR-493, no município de Itaboraí, próximo à intersecção com a BR-101. Tal presença é justificada devido ao retorno necessário na região pelas restrições na ponte Rio-Niterói a categorias de veículos pesados. As ‘Taxas de Severidade’ encontradas para os vinte trechos mais críticos variaram entre 14,67 e 35,94. Muitos dos trechos da BR-493 também se repetiram, com a adição de alguns trechos nas regiões Norte e Noroeste Fluminense na BR-101 e BR-356, respectivamente.

Foram encontradas sobreposições, nos métodos de Incidência de acidentes, na intersecção entre as BR-040 e BR-116 (uma região sensível ambientalmente) e na região Metropolitana. Nos métodos de Severidade, mais dispersos, destacaram-se dois trechos, em que se concentram e se sobrepõem pontos críticos de ambos os métodos. Um da BR-493, motivado pelas já mencionadas restrições de veículos pesados na ponte Rio-Niterói. E na intersecção entre as BR-465 e a BR-116, região essa também com registros de acidentes com veículos pesados transportando produtos perigosos.

Nas metodologias Denatran pode-se ressaltar as vantagens da inclusão de volumes de tráfego e obtenção de uma pontuação de risco para cada trecho da rodovia. Adicionalmente, é método mais simples e que exige processamentos menos complexos de dados. Em contrapartida, percebeu-se uma influência muito significativa do volume de tráfego nos resultados finais, além de uma ausência de dados de acidentes em trechos não formais da via. Para as análises espaciais em SIG, destacam-se as vantagens de se obter resultados estatisticamente significativos, possuir uma abrangência espacial por usarem coordenadas geográficas e possibilidades futuras de integração com outras tecnologias. Ao passo que, ainda possuem uma carência de estudos e metodologias consolidadas, assim

como uma grande dependência na qualidade da coleta de dados e registros feitos em campo.

A pesquisa demonstrou a capacidade de um SIG na identificação e representação dos pontos críticos de acidentes no Estado do Rio de Janeiro, podendo ser replicada, aperfeiçoada ou expandida em municípios, rodovias ou trechos específicos. As funcionalidades mostradas neste trabalho arranham a superfície das possibilidades aonde SIGs podem ser implementados na gestão de acidentes de trânsito. Percebe-se que as técnicas para abordagens estatísticas, juntamente com a percepção e armazenagem em banco de dados em SIG demonstram potencial para serem exploradas por parte de órgãos e instituições gestores do trânsito no Brasil.

Esta pesquisa salienta que, mesmo com as deficiências nos dados de acidentes no Brasil, a abordagem metodológica e experimentação com tecnologias mostram muito potencial nos estudos de acidentes no país. Esse conhecimento pode permitir que planejadores e engenheiros se concentrem nessas áreas e períodos de alto risco, juntamente com as causas específicas do local identificadas para intervenção com foco na segurança para minimizar acidentes de trânsito”.

Com o avanço das tecnologias, bancos de dados se mostram cada vez mais relevantes. Análises de pontos críticos podem ser feitas *on line* e retroalimentadas instantaneamente por registros de boletins de ocorrência. Essa informação é muito valiosa e pode ser inclusive utilizada por aplicativos de roteirização e sistemas auxiliares a motoristas e empresas do setor rodoviário. Esses resultados obtidos do geoprocessamento de dados permitem intervenções no sistema viário, promovendo melhorias na mobilidade e na qualidade de vida do cidadão, reduzindo também a gravidade sofrida pelas vítimas e à propriedade. O aprofundamento das ferramentas desta pesquisa resultará em um melhor gerenciamento dos riscos nas estradas, e inclusive com benefícios econômicos de longo prazo, melhor fluxo de tráfego e segurança para motoristas e pedestres.

Como recomendações para o poder público, esta pesquisa pode citar:

- Sugerir ao Departamento de Polícia Rodoviária Federal (DPRF) que os Boletins de Ocorrência de Acidentes passem a incluir informações que

permitam caracterizar acidentes com CVC, em separado dos acidentes com os demais veículos de carga. Estas informações são: a placa e o número de eixos de todos os veículos que fazem parte da composição (veículo trator e todos os veículos rebocados).

- Aumentar os pontos e a frequência de contagem de veículos. Gerando valores muito discrepantes entre trechos, por exemplo na BR-101. E na BR-356, a qual possui apenas um posto de contagem, sendo que possui mais de 187 km de extensão.
- Manutenção de um padrão nacional em sistemas informatizados de coleta, processamento e armazenamento dos dados de acidentes de trânsito e do sistema viário. Melhorar, padronizar e treinar continuamente a mão de obra no registro dos dados e principalmente quando se fala das coordenadas geográficas. O uso de SIG é totalmente dependente da qualidade dos registros locais.

Para trabalhos futuros, esta pesquisa sugere:

- Testar metodologias com diferentes variáveis, inclusive com volumes de tráfego, nas análises espaciais em SIG, utilizando também análises estatísticas de correlação para identificar outros fatores relevantes que influenciar nas ocorrências dos acidentes.
- Replicação de metodologias em SIG em áreas menores, podendo, assim, visitar os locais mais críticos, registrar a geometria, drenagem, sinalização e outras condições ambientais para propor medidas corretivas pontuais e específicas.

8 Referências bibliográficas

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10697**: Pesquisa de Acidentes de Trânsito. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR ISO 31000**: Gestão de Riscos – Princípios e diretrizes. Rio de Janeiro, 2018.

AGHAJANI, M. A. *et al.* Applying GIS to Identify the Spatial and Temporal Patterns of Road Accidents Using Spatial Statistics (case study: Ilam Province, Iran). **Transportation Research Procedia**. Vol. 25. 2126-2138p. 2017. ISSN 2352-1465. DOI 10.1016/j.trpro.2017.05.409. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517307160>>. Acesso em: 10 out. 2019.

AGYAKWAH, M. **Spatio-temporal patterns of vehicular accidents in Accra (Ghana)**. A Master dissertation submitted to faculty of Geo-Information Science and Earth Observation of the University of Twente. The Netherlands, 2018.

AHMADI, M. *et al.* **Geographic Information System (GIS) capabilities in traffic accident information management**: a qualitative approach. *Electron Physician*. Vol. 9, Issue 6. 4533-4540p. 2017. DOI 10.19082/4533. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28848627>>. Acesso em: 15 nov. 2019

AL-OMARI, A. *et al.* **Prediction of traffic accidents hot spots using fuzzy logic and GIS**. *Appl Geomat*. 12. 149–161p. 2020. DOI 10.1007/s12518-019-00290-7. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12518-019-00290-7>> Acesso em: 03 jul. 2020.

ANDERSON, T. Comparison of spatial methods for measuring road accident ‘hotspots’: a case study of London. **Journal of Maps**. Vol. 3, Issue 1. 55-63p. 2007. DOI 10.1080/jom.2007.9710827. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/jom.2007.9710827>>. Acesso em: 02 dez. 2019.

ANSELIN, L.; GETIS, A. Spatial statistical analysis and geographic information systems. *Regional Science. Annals...* Vol. 26. 19–33p. 1992. <https://doi.org/10.1007/BF01581478>. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF01581478>>. Acesso em: 16 dez. 2019

ANSELIN, L. Local indicators of spatial association-LISA. *Geogr. Annals...* 27(2), 93–115, 1995.

_____. Interactive techniques and Exploratory Spatial Data Analysis. In: P. Longley, M. Goodchild, D. Maguire and D. Rhind (eds.), **Geographical Information Systems: principles, techniques, management and applications**. Cambridge: Geoinformation International, 1996.

ARAGÃO, J. *et al.* Transportes no Brasil: que história contar?. **Revista Eletrônica TRANSPORTES**. ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2001. ISSN: 2237-1346. DOI 10.4237/transportes.v9i2.172. Disponível em: <<https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/172>>. Acesso em: 16 dez. 2019.

BACCHIERI, G.; BARROS, A. J. D. Acidentes de trânsito no Brasil de 1998 a 2010: muitas mudanças e poucos resultados. **Revista Saúde Pública**. Vol. 45, n. 5. 949-963p. 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.org/article/rsp/-2011.v45n5/949-963/#ModalArticles>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

BADIN, N.T. *et al.* Utilização de um sistema de informação geográfica para planejamento e gerenciamento de placas de sinalização viária: Estudo de caso em Joinville. In: Encontro Nacional de engenharia de produção. **Anais...** Curitiba. 22. 1-8p. 2002.

BOECHAT, I. Rio teve seis mortes de vítimas de acidentes de trânsito por dia em 2018. **Globo News** – Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2019/09/17/rio-teve-seis-mortes-de-vitimas-de-acidentes-de-transito-por-dia-em-2018.ghtml>>. Acesso em 11 jan. 2020

BONHAM-CARTER, G. F. Chapter 1 - Introduction to GIS, In: **Geographic Information Systems for Geoscientists**, Pergamon. 1-23p. 1994. ISBN 9780080418674. DOI 10.1016/B978-0-08-041867-4.50006-0. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780080418674500060>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

BRANDÃO, L. M. **Medidores Eletrônicos de Velocidade**. Uma Visão da Engenharia para Implantação, Editora Perkons, Curitiba, 2006.

BRANDÃO, L. M. **Discussão sobre métodos para identificação de locais críticos em acidentes de trânsito no Brasil**. Trabalho apresentado na disciplina de Infraestrutura viária IC 201 A. Campinas, 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. Política Nacional de Redução da Morbimortalidade por Acidentes e Violências: Portaria MS/GM nº 737 de 16/5/01. **Diário Oficial da**

União: nº 96 seção 1e, de 18/5/01 / Ministério da Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2001.

_____. Ministério dos Transportes. **Procedimentos para o Tratamento de Locais Críticos de Acidentes de Trânsito**. Programa PARE, Brasil, 2002.

_____. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação. **Anuário Estatístico de Segurança Rodoviária**. Brasília, 2017.

_____. Ministério de Infraestrutura. Síntese – Setor Rodoviários. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.infraestrutura.gov.br/component/content/article-.html?id=5341>>. Acesso em: 05 jan. 2019.

_____. Ministério da Justiça e Segurança Pública. Departamento da Polícia Rodoviária Federal. **Dados abertos** – Acidentes, 2019. Disponível em: <<https://portal.prp.gov.br/dados-abertos-acidentes>> Acesso em: 05 out. 2019.

BUDIHARTO, U.; SAIDO, A.P. Traffic accident blackspot identification and ambulance fastest route mobilization process for the city of Surakarta. **Jurnal Transportasi**, 2012. DOI 10.26593/jt.v12i3.508.%25p. Disponível em: <<http://journal.unpar.ac.id/index.php/journaltransportasi/article/view/508>>. Acesso em: 31 nov. 2019.

CÂMARA, G.; *et al.* Análise Espacial e Geoprocessamento. In: DRUCK, S. *et al.* (eds). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004a. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/cap1-intro>> Acesso em: 10 jan. 2020.

CÂMARA, G., MONTEIRO, A.M.V, MEDEIROS, J.S. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V., organizadores (eds). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2004b. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd>> Acesso em: 20 dez. 2019

CÂMARA, G., DAVIS, C. Por que Geoprocessamento? In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. (organizadores). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2004c. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd>>. Acesso em: 20 dez. 2019

CASTRO, N. Os desafios da regulação do setor de transporte no Brasil. **Revista de Administração Pública**. Vol. 34, n. 5, 119-141p. 2000.

CAVALCANTE, R. **Apostila de Introdução ao SIG**. Pró-Reitoria de Planejamento e Desenvolvimento I. UFMG. Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <[https://www.ufmg.br/proplan/wp-content/uploads/Apostila-de-Introdu%C3-%A7%C3%A3o-ao-SIG-Proplan-2015.pdf](https://www.ufmg.br/proplan/wp-content/uploads/Apostila-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-ao-SIG-Proplan-2015.pdf)>. Acesso em: 10 dez. 2019.

CEPERJ - FUNDAÇÃO CENTRO ESTADUAL DE ESTATÍSTICAS, PESQUISAS E FORMAÇÃO DE SERVIDORES DO RIO DE JANEIRO. **Cartografia Fluminense**, 2019. Disponível em: <<http://www.ceperj.rj.gov.br/-Conteudo.asp?ident=79>>. Acesso em: 10 jun. 2020.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Acidentes rodoviários e infraestrutura**. Brasília, 2018.

_____. **Acidentes Rodoviários: Estatísticas envolvendo caminhões**. Brasília, 2019a.

_____. **Transporte em números**. Brasília, 2019b

CONTRAN - CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. Resolução No. 180 Volume I - Sinalização Vertical de Regulamentação, do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito. **Diário Oficial da União**. Brasília, 2005.

_____. Resolução No. 221. Requisitos necessários à circulação de Combinações de Veículos de Carga - CVC. **Diário Oficial da União**. Brasília, 2006.

CHOUDHARY, J.; OHRI, A.; KUMAR, B. **Spatial and statistical analysis of road accidents hot spots using GIS**. 3rd Conference of Transportation Research Group of India. India, 2015.

DABALO, E. L. **Investigation of hotspot location and excessive speeding in Addis Ababa**. M.Sc. Thesis. School of Civil and Environmental Engineering. Ethiopia, 2020.

DAI, D.; JAWORSKI, D. Influence of built environment on pedestrian crashes: A network-based GIS analysis. **Applied Geography**, Vol. 73, 53–61p. 2016. DOI 10.1016/j.apgeog.2016.06.005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143622816301369>>. Acesso em: 20 mai. 2020.

DENATRAN - DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual de identificação, análise e tratamento de pontos negros**. 2ª edição, Brasília, DF, 1987.

_____. **Frota de Veículos 2020**. Disponível em: <<https://www.gov.br/-infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/frota-de-veiculos-2020>>. Acesso em: 01 jan. 2020.

DETRAN-RJ - DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Anuário Estatístico do DETRAN-RJ de 2015**. Coordenadoria de Estatística e Acidentologia. Rio de Janeiro, 2016.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Pesquisas e Desenvolvimento. **Um Modelo para Identificação dos Segmentos Críticos de uma Rede de Rodovias**. Rio de Janeiro, 1986.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Elaboração de ações preventivas e corretivas de segurança rodoviária, por meio de identificação e mapeamento dos segmentos críticos da malha viária do DNIT. **Produto I - Metodologia para identificação de segmentos Críticos**. Destaque Orçamentário - Portaria nº 1.282 de 31 de outubro de 2008 - DNIT / UFSC. 2009.

_____. **Quadro de Fabricantes de Veículos**. Coordenação Geral de Operações Rodoviárias. Brasília, 2012.

_____. **Sistema Viário Nacional 2020**. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/dnit-geo>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

EL-BASYOUNY, K.; SAYED, T. Safety performance functions using traffic conflicts. **Safety Science**, Vol. 51, Issue 1. 160-164p. 2013. ISSN 0925-7535. DOI 10.1016/j.ssci.2012.04.015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753512001671>>. Acesso em: 21 jan. 2020.

ERDOGAN, S. *et al.* Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar. **Accident Analysis & Prevention**, Vol. 40, Issue 1. 174-181p. 2008. ISSN 0001-4575. DOI 10.1016/j.aap.2007.05.004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001457507000863>>. Acesso em: 23 jan. 2020.

ERDOGAN, S. Explorative spatial analysis of traffic accident statistics and Road mortality among the provinces of Turkey. **Journal of Safety Research**. Vol. 40, Issue 5, 341-351p. 2009.

ESRI – ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **What is ArcGIS?** Redlands, CA, 2004.

Tool Documentation. Redlands, CA, 2019. Disponível em: <<https://desktop.arcgis.com/en/documentation/>>. Acesso em: 5 fev. 2020.

FAMILI, A. *et al.* **GIS Based Spatial Analysis of Pedestrian Crashes: A Case Study of South Carolina.** International Conference on Transportation and Development. 2018. 368-376. DOI 10.1061/9780784481530.037. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784481530.037>>. Acesso em: 1 fev. 2020.

FARIA, S. F. S. **Fragmentos da história dos transportes.** São Paulo, 2000.

FEDERAL MOTOR CARRIER SAFETY ADMINISTRATION, 2004. **Large Truck Crash acts 2002.** United States Department of Transportation. Washington, 2004.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação.** Oficina de textos. São Paulo, 2008.

FURTADO, C. **Formação econômica do Brasil.** 32. ed. São Paulo: Ed. Nacional, 2005.

GALVÃO, O. J. A. **Desenvolvimento dos transportes e integração regional no Brasil** – uma perspectiva histórica. Planejamento e políticas públicas. n. 13, 183-211p. 1996.

GETIS, A.; ORD, J. K. **The analysis of spatial association by use of distance statistics.** Geographical Analysis. Vol. 24. 189–206p. 1992.

GOLD, P. A. **Segurança de trânsito.** Aplicações de engenharia para reduzir acidentes. Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID. São Paulo, 1998. 211p.

GONIEWICZ, K. *et al.* Road accident rates: strategies and programmes for improving road traffic safety. **European journal of trauma and emergency**

surgery: official publication of the European Trauma Society. Vol. 42. 2015. DOI 10.1007/s00068-015-0544-6. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00068-015-0544-6>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

GUEDES, G. “Greve de caminhoneiros colocou Petrobras em xeque e expôs dependência rodoviária” - **Economia – iG**. 19 dez 2018. Disponível em: <<https://economia.ig.com.br/2018-12-19/greve-dos-caminhoneiros-retrospectiva.-html>> Acesso em: 21 jan. 2020.

GUNDOGDU, I. B. Applying linear analysis methods to GIS-supported procedures for preventing traffic accidents: Case study of Konya. **Safety Science**, Vol. 48, Issue 6. 763-769p. 2010. ISSN 0925-7535. DOI 10.1016/j.ssci.2010.02.016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753510000561>>. Acesso em: 5 fev. 2020.

HAINING, R.; WISE, S.; MA, J. Exploratory Spatial Data Analysis. **Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)**. Vol. 47, Issue 3. 457–469p. 1998.

HARIRFOROUSH, H.; BELLALITE, L.; BÉNIÉ, G. B. Spatial and Temporal Analysis of Seasonal Traffic Accidents. American. **Journal of Traffic and Transportation Engineering**. Vol. 4, n. 1. 7-16p. 2019. DOI 10.11648/j.ajtte.20190401.12. Disponível em: <<http://www.sciencepublishing-group.com/journal/paperinfo?journalid=187&doi=10.11648/j.ajtte.20190401.12>>. Acesso em: 6 fev. 2020.

HASHIMOTO, S. *et al.* Development and application of traffic accident density estimation models using kernel density estimation. **Journal of Traffic and Transportation Engineering** (English Edition). Vol. 3, Issue 3. 262-270p. 2016. ISSN 2095-7564. DOI 10.1016/j.jtte.2016.01.005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756415305808>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Resolução da Presidência nº 01/2015. Brasília, 2015.

Cidades e Estados. 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj.html>> Acesso em 13 jan. 2020.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras**. Relatório Executivo - IPEA/DENATRAN/ANTP. Brasília, 2006.

_____. **Estimativa dos custos dos acidentes de trânsito no Brasil** com base na atualização simplificada das pesquisas anteriores do IPEA. Brasília, 2015.

IPR – INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Estudo dos Impactos do Bitrem nas Rodovias Federais Brasileiras**. Relatório Final Consórcio GISTRAN–CONTÉCNICA, DNIT. Vol. 1. 2009.

IPTRANS – INSTITUTO DE PESQUISA DE TRANSPORTE. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://iptrans.org.br/index.php/component/content/article/16-noticias/38-importantes-dimensoes-a-serem-analisadas-no-transporte-de-cargas-brasileiro>> Acesso em: 30 jan 2020.

ISEN, L. SHIBU, A.; SARAN, M. S. Identification and analysis of accident black spots using geographic information system. **International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology**. Vol. 2, Special Issue 1. 2013.

ISP – INSTITUTO DE SEGURANÇA PÚBLICA. **Dossiê Trânsito, 2012**; organizadores: PINTO, A. S.; GONÇALVES, L. Rio de Janeiro, 2012.

ITF – INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM. **Road Safety Annual Report 2017**. OECD Publishing, Paris, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1787/irtad-2017-en>>. Acesso em: 10 dez. 2019.

JAYAN, K.D.; GANESHKUMAR, B. Identification of Accident Hot Spots: A GIS Based Implementation for Kannur District, Kerala. **International Journal of Geomatics and Geosciences**. Vol. 1, Issue 1. 51-59p. 2010.

JUNIOR, M. A. R. O. **Geoprocessamento como ferramenta de análise integrada de riscos de acidentes industriais**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Saúde Pública de São Paulo, 2008. 119p. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-10102008-103054/publico/MarcoAntonio.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2020.

KANELLAIDIS, G., VARDAKI, S. Highway geometric design from the perspective of recent safety developments. **ASCE Journal of Transportation Engineering**. Forum piece. Vol. 137, Issue 12. 841–844p. 2011. DOI 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000322. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29TE.1943-5436.0000322>>. Acesso em: 20 mar. 2020.

KAPRON, R. A. **História do trabalho dos caminhoneiros no Brasil: profissão, jornada e ações políticas**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em História. Universidade Federal de Pelotas, Brasil, 2012. 201p.

KHORASHADI, A. *et al.* Differences in rural and urban driver-injury severities in accidents involving large-trucks: an exploratory analysis. **Accident Analysis & Prevention**. Vol. 37, Issue 5. 910-921p. 2005.

LAFER, C. **JK e o Programa de Metas (1956-1961):** processo de planejamento e sistema político no Brasil. FGV Editora. Rio de Janeiro, 2002.

LE, K.; LIU, P.; LIN, L. T. Determining the road traffic accident hotspots using GIS-based temporal-spatial statistical analytic techniques in Hanoi, Vietnam. **Geo-spatial Information Science**. 1-12p. 2019. DOI 10.1080/10095020.2019.1683437. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10095020.2019.1683437>>. Acesso em: 5 fev. 2020.

LEE, J., MANNERING, F. Impact of roadside features on the frequency and severity of run-off-roadway accidents: an empirical analysis. **Accident Analysis & Prevention**. Vol. 34, Issue 2. 149–161p. 2002.

LUZ, A. J., LEAL, E. **Banco de Dados Geográfico:** Estudo das Arquiteturas Existentes. Laboratório de Banco de Dados e Engenharia de Software – Centro Universitário Luterano de Palmas/Universidade Luterana do Brasil (CEULP/ULBRA), 2009.

MARIN, L.; QUEIROZ, M. S. A atualidade dos acidentes de trânsito na era da velocidade: uma visão geral. **Cad. Saúde Pública** [on-line]. Vol.16, n.1, 7-21p. 2000. ISSN 1678-4464. DOI 10.1590/S0102-311X2000000100002. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102311X2000000100002&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 20 mar. 2020.

MARTINEZ, A.; LOPES, D. L. Nota Técnica 213/2010: **Auditoria de segurança viária (ASV)**. São Paulo: Companhia de Engenharia de Tráfego (CET), 2010. 12p.
MASSARO, C. M. **Evolução da acidentalidade da malha rodoviária da região central do estado de São Paulo**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2018.

MATSUMOTO, P. S. S.; FLORES, E. D. **Estatística espacial na geografia:** um estudo dos acidentes de trânsito em Presidente Prudente – SP. Departamento de Geografia da FCT/UNESP. Presidente Prudente. Vol.1, n. 12, 95-113p. 2012.

MEINBERG, F.F. Projeto de Georreferenciamento de Acidentes de Trânsito com Vítimas em Belo Horizonte. **Informática Pública**. Vol. 5, Issue 1. 79-99p. 2003.

MILLER, H. J. Tobler's First Law and Spatial Analysis. Association of American Geographers, **Annals...** 94(2), 284–289p. 2004.

MING, S. H. Nota Técnica 210/2001: **Técnica de Análise de Conflitos**. São Paulo: Companhia de Engenharia de Tráfego (CET), 2001. 21p.

MOONS, E.; BRIJS, T.; WETS, G. Improving Moran's Index to Identify Hot Spots in Traffic Safety. **Geocomputation & Urban Plannin**, Vol. 117, 117–132p. 2009.

MORAN, P.A. The interpretation of statistical maps. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)**, Vol. 10, Issue 2. 243-251p. 1948.

MORENO, C. R. C.; ROTENBERG, L. Fatores determinantes e repercussões da atividade dos motoristas de caminhão: um olhar a partir da análise coletiva do trabalho. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**. São Paulo, Vol. 34, n. 120, 128-138p. 2009.

NAIK, H. *et al.* Identification and analysis of accident black spots on NH147 using GIS. 2016. In: Conference Transportation Planning And Implementation Methodologies For Developing Countries (Tpmdc). **Annals...** 2016.

NARCISO, F. V.; MELLO, M. T. Safety and health of professional drivers who drive on Brazilian highways. **Rev. Saúde Pública**, São Paulo, Vol. 51, 2017. 26p. DOI 10.1590/s1518-8787.2017051006761. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S003489102017000100604&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 08 jan. 2020.

NATAL, J. L. A. **Transporte, ocupação do espaço e desenvolvimento capitalista no Brasil: história e perspectivas**. Tese de doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia, Campinas, 1991. 370p. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/285842>>. Acesso em: 30 nov. 2019.

NOGUEIRA, R. E. **Cartografia: Representação, comunicação e visualização de dados espaciais**. Florianópolis, SC. Editora da UFSC. 2a Edição Revista. 2008.
PANCARY. **Um Diagnóstico de Acidentes de Caminhões. POR VIAS SEGURAS** da Associação Brasileira de Prevenção de acidentes de trânsito. 2007. Disponível em: <http://vias-seguras.com/documentos/bibliografia_e_temas>. Acesso em: 15 jul. 2020.

PARKER, M. R., ZEGEER, C. V., MARTIN, R. Parker & Associates., United States. Federal Highway Administration. **Traffic conflict techniques for safety**

and operations: engineer's guide. McLean, Va.: U.S. Dept. of Transportation, Federal Highway Administration. 1989.

PARO, L. S. M. **Contribuição metodológica para identificação de segmentos críticos em rodovias**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis, 2009.

PENA, R. F. A. "**Território brasileiro: localização, extensão e fronteiras**" - Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilescola.uol.com.br/brasil/territorio-brasileiro-localizacao-extensao-fronteiras.htm>> Acesso em 18 de março de 2020.

PENTEADO, R. B. **Avaliação da estabilidade lateral em conjuntos de veículos de carga**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 2004.

PIRDAVANI, A. *et al.* Application of geographically weighted regression technique in spatial analysis of fatal and injury crashes. **Journal of Transportation Engineering**, Vol. 140, Issue 8. 2014.

PIROLI, E.L. **Introdução ao geoprocessamento**. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Campus Experimental de Ourinhos, 2010. 46 p. ISBN: 9788561775056.

PLINE, J.L. **Traffic Engineering Handbook**. Fourth Edition, Institute of Transportation Engineers. NJ, United States ,1992.

PLUG, C.; XIA, J.; CAULFIELD, C. Spatial and temporal visualization techniques for crash analysis. **Accident Analysis & Prevention**, Vol. 43, Issue 6. 1937-1946p. 2011. ISSN 0001-4575. DOI 10.1016/j.aap.2011.05.007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001457511001266>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

PRASANNAKUMAR, V. *et al.* Spatio-temporal clustering of road accidents: GIS based analysis and assessment. **Procedia Social and Behavioral Sciences**, Vol. 21, 317-325p. 2011.

RIO espera recorde de turistas no verão, com 3,2 milhões de visitantes. **G1 Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 21 nov. 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2013/11/rio-espera-recorde-de-turistas-no-verao-com-32-milhoes-de-visitantes.html>>. Acesso em: 02 jun. 2020.

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2000.

SAMUEL, P.; POOLE, R.; HOLGUIN-VERAS, J. **Toll Truckways: A new path toward safer and more efficient freight transportation.** 2002. Disponível em <www.rppi.org/ps294.pdf>. Acesso em 20 out. 2018.

SANTOS, J. A. História do transporte rodoviário. **Revista Ibero-Americana de Estratégia**, Vol. 1, n. 1, 27-32p. 2002. Disponível em: <<http://www.spell.org.br/documentos/ver/26647/historia-do-transporte-rodoviario/i/pt-br>>. Acesso em: 30 de nov. 2019.

SANTOS, M. M. **Transporte rodoviário de cargas no Brasil: transportadoras e sindicalismo a partir dos anos 1990.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Economia. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2007. 178p.

SATRIA, R.; CASTRO, M. GIS Tools for Analyzing Accidents and Road Design: A Review. **Transportation Research Procedia**, Vol. 18, 242-247p. 2016. ISSN 2352-1465. DOI 10.1016/j.trpro.2016.12.033. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516307888>>. Acesso em: 5 out. 2019.

SCHMITZ, A. **Proposta metodológica baseada em GIS para análise dos segmentos críticos de rodovia:** estudo de caso na BR-285/RS. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. UFSC. Florianópolis, 2011.

SHAFABAKHSH, G.A.; FAMILI, A.; BAHADORI, M.S. GIS-based spatial analysis of urban traffic accidents: Case study in Mashhad, Iran. **Journal of Traffic and Transportation Engineering** (English Edition), Vol. 4, Issue 3. 290-299p. 2017. ISSN 2095-7564. DOI 10.1016/j.jtte.2017.05.005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756417301988>>. Acesso em: 6 out. 2019.

SILVA, L. A.; MENDES, L. A. M.; NEVES, B. **Utilização de um sistema de informação geográfica para o gerenciamento de dados sobre acidentes de trânsito em vias urbanas:** estudo de caso em São João Del Rei – MG. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Presidente Antônio Carlos - UNIPAC. Barbacena, 2009.

SILVA, L. G. **O trabalho dos motoristas de caminhão:** A relação entre atividade, vínculo empregatício e acidentes de trabalho. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, 2011.

SILVA, L. W.; DEREZYNSKI, C. P. **Caracterização Climatológica e Tendências Observadas em Extremos Climáticos no Estado do Rio de Janeiro.**

Anuário do Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. ISSN 0101-9759 e-ISSN 1982-3908. Vol. 37, n. 2. 123-138p. 2014. DOI 10.11137/2014_2_123_138. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/6005/5513>>. Acesso em: 6 fev. 2020.

SILVA, C. Greve de caminhoneiros deixa rastro de prejuízos bilionários em todo o País. **Estadão**. 2018. Disponível em: <<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,greve-de-caminhoneiros-deixa-rastro-deprejuizos-bilionarios-em-todo-o-pais,70002331980>> Acesso em: 08 dez. 2019.

SILVERMAN, B. W. **Density Estimation for Statistics and Data Analysis**. New York: Chapman and Hall, 1986.

SOARES, A.L.; COSTA, G. A. O. P.; TONIOLI, F. Cadastro Viário Georreferenciado com ênfase em Acidentes. II Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. **Anais...** Aracaju-SE, 10-12p. 2004.

SOLEIMANI, M.R.; JAHANI, T. Applications of GIS Software in Road traffic safety. **Journal of Traffic Management Study**. Vol. 4, Issue 14. 111-130p. 2009.

SORATE, R.R. *et al.* Identification of Accident Black Spots on National Highway 4 (New Katraj Tunnel to Chandani Chowk). **Journal of Mechanical and Civil Engineering** (IOSR-JMCE). Vol. 12, Issue 3. 61-67p. may - jun. 2015.

SOUSA, M. T. R. As etapas de estruturação dos meios de transporte no Brasil e o desenvolvimento desigual. **Geoambiente On-line**. Revista Eletrônica do curso de Geografia do Campus avançado de Jutai-GO. ISSN 1679-9860 n.4. jan-jun. 2005. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/geoambiente/article/viewFile/25871/14861>> Acesso em: 15 jan. 2020.

SOUZA, V. R. *et al.* Análise espacial dos acidentes de trânsito com vítimas fatais: comparação entre o local de residência e de ocorrência do acidente no Rio de Janeiro. **Rev. bras. estud. popul.** [on-line]. Vol.25, n.2, 353-364p. 2008. ISSN 1980-5519. DOI 10.1590/S0102-30982008000200010. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010230982008000200010&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 10 mar. 2020.

STRAUCH, C. E. **Acidentes com produtos perigosos no transporte rodoviário no Estado do Rio de Janeiro**: propostas de melhoria nas ações que visam a respostas emergenciais. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. FEN/UERJ. 216p. Rio de Janeiro, 2004.

TORTUM, A.; ATALAY, A. Spatial analysis of road mortality rates in Turkey. **Transport**. Vol. 168. 532-542p. 2015. DOI 10.1680/jtran.14.00029. Disponível em: <<https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/jtran.14.00029>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

TURISRIO. Anuário Estatístico de Turismo do Estado do Rio de Janeiro de 2014. Observatório de Turismo da Turisrio - Setur. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.turisrio.rj.gov.br/downloads/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%202014.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2020.

VILELA, P.R. Brasil reduz mortes no trânsito, mas está longe da meta para 2020. **Agência brasil**, EBC. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-09/brasil-reduz-mortes-no-transito-mas-esta-longe-da-meta-para-2020>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Global status report on road safety 2018. Geneva: WHO. 2018. 403p. Licence: CC BYNC-SA 3.0 IGO. Disponível em: <<https://www.who.int/publications-detail-redirect/global-status-report-on-road-safety-2018>>. Acesso em: 10 out. 2019.

WOLFF, M.; ASCHE, H. **Geospatial Crime Scene Investigation** – From Hotspot Analysis to Interactive 3D Visualization. 285-299p. 2009. DOI 10.1007/978-3-642-02454-2_20. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-02454-2_20>. Acesso em: 10 abr. 2020.

XIE, Z., & YAN, J. Kernel Density Estimation of traffic accidents in a network space. **Computers, Environment and Urban Systems**. Vol. 32, 396–406p. 2008. DOI 10.1016/j.compenvurbsys.2008.05.001. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0198971508000318>>. Acesso em: 10 out. 2019.

YAMADA, I.; THILL, J. C. Local Indicators of Network-Constrained Clusters in Spatial Patterns Represented by a Link Attribute. Association of American Geographers. **Annals...** 100. 269-285p. 2010. DOI 10.1080/00045600903550337. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00045600903550337>>. Acesso em: 10 out. 2019.

YE, H. *et al.* Development of a Digital Accident Hotspot Map for ADAS Applications Using Geospatial Methods in GIS. **Journal of Navigation**. Vol. 67, Issue 3. 353–369p. 2014. DOI 10.1017/s0373463313000805. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-navigation/article/-development-of-a-digital-accident-hotspot-map-for-ad-as-applications-using-geospatial-methods-in-gis/ECEC472F964D41F5FA7042BAA72EA404>>. Acesso em: 20 mai. 2020

ZHANG, C. *et al.* Use of local Moran's I and GIS to identify pollution hotspots of Pb in urban soils of Galway, Ireland. **Science of The Total Environment**. Vol.

398, Issues 1–3, 212-221p. 2008. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2008.03.011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969708002799>>. Acesso em: 5 fev. 2020.

9 Glossário

ADAS - *Advanced Driver Assistance Systems*

CAMINHÃO-TRATOR - veículo automotor destinado a tracionar ou arrastar outro.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

KDE – *Kernel Density Estimation*

LISA - Indicador Local de Associação Espacial (*Local Indicator of Spatial Association*)

PAYD – *Pay-As-You-Drive*

PHYD – *Pay-How-You-Drive*

PBT – Peso Bruto Total: capacidade máxima que um veículo de transporte pode suportar, somando a tara (T) e a lotação (L)

PRF – Polícia rodoviária federal.

REBOQUE - veículo destinado a ser engatado atrás de um veículo automotor.

SEMI-REBOQUE - veículo de um ou mais eixos que se apoia na sua unidade tratora ou é a ela ligado por meio de articulação.

SIG – Sistema de Informação Geográfica.

TIN – *Triangular Irregular Network*

VEÍCULO AUTOMOTOR - todo veículo a motor de propulsão que circule por seus próprios meios, e que serve normalmente para o transporte viário de pessoas e coisas, ou para a tração viária de veículos utilizados para o transporte de pessoas e coisas.

VMD – Volume Médio Diário de veículos.

10 Anexos

Anexo 1 – DICIONÁRIO DE VARIÁVEIS (ACIDENTES) - Dados agregados por pessoa, com todas as causas e tipos de acidentes registros a partir de janeiro de 2017.

| <i>Nome da Variável</i> | <i>Descrição</i> |
|-------------------------------|--|
| <i>id</i> | Variável com valores numéricos, representando o identificador do acidente. |
| <i>pesid</i> | Variável com valores numéricos, representando o identificador da pessoa envolvida. |
| <i>data_inversa</i> | Data da ocorrência no formato dd/mm/aaaa. |
| <i>dia_semana</i> | Dia da semana da ocorrência. |
| <i>horario</i> | Horário da ocorrência no formato hh:mm:ss. |
| <i>uf</i> | Unidade da Federação. Ex.: MG, PE, DF, etc. |
| <i>br</i> | Variável com valores numéricos, representando o identificador da BR do acidente. |
| <i>km</i> | Identificação do quilômetro onde ocorreu o acidente, com valor mínimo de 0,1 km e com a casa decimal separada por ponto. |
| <i>municipio</i> | Nome do município de ocorrência do acidente |
| <i>causa_principal</i> | Identifica se a causa do acidente foi identificada como principal pelo policial. |
| <i>causa_acidente</i> | Causa presumível do acidente, baseada nos vestígios, indícios e provas colhidas no local do acidente. |
| <i>ordem_tipo_acidente</i> | Valor numérico que identifica a sequência dos eventos sucessivos que ocorreram no acidente. |
| <i>tipo_acidente</i> | Identificação do tipo de acidente. Ex.: Colisão frontal, Saída de pista, etc. |
| <i>classificacao_acidente</i> | Classificação quanto à gravidade do acidente: Sem Vítimas, Com Vítimas Feridas, Com Vítimas Fatais e Ignorado. |
| <i>fase_dia</i> | Fase do dia no momento do acidente. Ex. Amanhecer, Pleno dia, etc. |
| <i>sentido_via</i> | Sentido da via considerando o ponto de colisão: Crescente e decrescente. |
| <i>condicao_meteorologica</i> | Condição meteorológica no momento do acidente: Céu claro, chuva, vento, etc. |
| <i>tipo_pista</i> | Tipo da pista considerando a quantidade de faixas: Dupla, simples ou múltipla. |
| <i>tracado_via</i> | Descrição do traçado da via. |
| <i>uso_solo</i> | Descrição sobre as características do local do acidente: Urbano=Sim;Rural=Não. |
| <i>id_veiculo</i> | Variável com valores numéricos, representando o identificador do veículo envolvido. |
| <i>tipo_veiculo</i> | Tipo do veículo conforme Art. 96 do Código de Trânsito Brasileiro. |
| <i>marca</i> | Descrição da marca do veículo. |
| <i>ano_fabricacao_veiculo</i> | Ano de fabricação do veículo |
| <i>tipo_envolvido</i> | Tipo de envolvido no acidente conforme sua participação no evento. Ex.: condutor, passageiro, pedestre, etc |
| <i>estado_fisico</i> | Condição do envolvido conforme a gravidade das lesões. Ex.: morto, ferido leve, etc. |
| <i>idade</i> | Idade do envolvido. O código “-1” indica que não foi possível coletar tal informação. |
| <i>sexo</i> | Sexo do envolvido. O valor “inválido” indica que não foi possível coletar tal informação. |
| <i>ilesos</i> | Valor binário que identifica se o envolvido foi classificado como ileso. |
| <i>feridos_leves</i> | Valor binário que identifica se o envolvido foi classificado como ferido leve. |
| <i>feridos_graves</i> | Valor binário que identifica se o envolvido foi classificado como ferido grave. |
| <i>mortos</i> | Valor binário que identifica se o envolvido foi classificado como morto. |
| <i>latitude</i> | Latitude do local do acidente em formato geodésico decimal. |
| <i>longitude</i> | Longitude do local do acidente em formato geodésico decimal. |

Fonte: Polícia Rodoviária Federal (2020).