



UMA PROPOSTA DE TRATAMENTO DOS DADOS SOBRE ACIDENTES NAS  
RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS COM VISTAS A ATUAR  
PREVENTIVAMENTE NA REDUÇÃO DE SUA OCORRÊNCIA

Paulo César Pêgas Ferreira

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Transportes.

Orientador: Carlos David Nassi

Rio de Janeiro

Agosto de 2017

UMA PROPOSTA DE TRATAMENTO DOS DADOS SOBRE ACIDENTES NAS  
RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS COM VISTAS A ATUAR  
PREVENTIVAMENTE NA REDUÇÃO DE SUA OCORRÊNCIA

Paulo César Pêgas Ferreira

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ  
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM  
ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Examinada por:

---

Prof. Carlos David Nassi, Dr. Ing.

---

Prof. Paulo Cezar Martins Ribeiro, Ph.D.

---

Prof. Ronaldo Balassiano, Ph.D.

---

Prof. Felipe Maia Galvão França, Ph.D.

---

Prof. José Alberto Quintanilha, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL  
AGOSTO DE 2017

Ferreira, Paulo César Pêgas

Uma proposta de tratamento dos dados sobre acidentes nas rodovias federais brasileiras com vistas a atuar preventivamente na redução de sua ocorrência / Paulo César Pêgas Ferreira - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017

XIV, 183 p.: il.; 29,7 cm

Orientador: Carlos David Nassi

Tese (doutorado) – UFRJ/COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2017.

Referências Bibliográficas: p.160-167.

1. Segurança Viária. 2. Acidentes de Trânsito. 3. Sistema de informações geográficas. I. Nassi, Carlos David. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

## **Dedico este trabalho**

À Deus em retribuição ao dom da vida e do saber, que permitiram chegar aqui.

À minha esposa Sônia que sempre me apoiou, incentivou e conviveu pacientemente com minha “ausência”.

Aos meus filhos, Aline e Vítor pelo constante apoio e motivação.

Aos meus Pais pelo sacrifício que me permitiu estudar.

Aos meus avós pelo exemplo e confiança no meu sucesso.

Aos meus tios que sempre me incentivaram a estudar e buscar por uma vida digna.

Ao meu sobrinho Felipe, minha neta Laura e aos meus alunos das Faculdades IBMEC, para que nunca deixem de acreditar em seus sonhos.

A todos que acreditam que podem fazer um mundo melhor.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ, pela oportunidade de estudar neste Centro de Excelência.

Aos professores que aqui me acolheram e muito me enriqueceram com o seu conhecimento, seu exemplo e seu serviço dedicado.

Agradecimento especial ao meu amigo Prof. Dr. Ing. Carlos David Nassi pela paciência, confiança e orientação segura. Aprendi muito com o senhor nesses anos. Aprendi como se deve ensinar, orientar e, principalmente, como respeitar e compreender os outros.

Uma menção especial à Jane e à Helena, que sempre me acolheram com muito profissionalismo e competência na secretaria e por estarem sempre dispostas a ajudar no que for preciso.

Ao amigo Altair Ferreira Filho, por seu incessante incentivo.

Ao prezado amigo Erivelton Pires Guedes, por sua disponibilidade e fundamental apoio para trabalhar os dados e os mapas, sem o que não teria sido possível concluir este trabalho.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

UMA PROPOSTA DE TRATAMENTO DOS DADOS SOBRE ACIDENTES NAS  
RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS COM VISTAS A ATUAR  
PREVENTIVAMENTE NA REDUÇÃO DE SUA OCORRÊNCIA

Paulo César Pêgas Ferreira

Agosto/2017

Orientador: Carlos David Nassi

Programa: Engenharia de Transportes

Esta tese tem como propósito apresentar um estudo sobre o desenvolvimento de uma metodologia de análise e previsão de quantidades e severidade dos acidentes de trânsito para o Brasil, tomando como base as ocorrências registradas pela Polícia Rodoviária Federal, nas rodovias federais brasileiras, no ano de 2009, a partir do tratamento matemático dos fatores relacionados, no caso os Volumes Diários Médios Anual (VDMA) por faixa e extensão urbana e/ou rural dos trechos.

Adicionalmente, foram utilizados critérios de parametrização da severidade dos acidentes, de forma a identificar a sua oportunidade de utilização com vistas a conhecer os trechos com maior concentração das ocorrências, a partir de seus custos sociais.

Esse conjunto de informações foi trabalhado a partir de software com o uso de ferramentas de tratamento de dados, com a finalidade de se chegar a modelos matemáticos que permitiram definir os relacionamentos dos fatores de maior relevância, nos trechos analisados.

Foram incorporados ainda estudos geoespaciais que permitiram não só a localização geográfica dos trechos, mas sua confrontação com informações socioeconômicas, com vistas a entender se há correlação direta entre estes indicadores nas Regiões, Estados e Regiões Metropolitanas do Brasil.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

A PROPOSAL FOR THE TREATMENT OF ACCIDENT DATA ON BRAZILIAN  
FEDERAL ROADS WITH A VIEW TO PREVENTIVELY ACTING THE REDUCTION OF  
THEIR OCCURRENCE

Paulo César Pêgas Ferreira

August/2017

Advisor: Carlos David Nassi

Department: Transportation Engineering

This thesis aims to present a study on the development of a methodology for the analysis and prediction of the quantity and severity of traffic accidents in Brazil, based on the occurrences recorded by the Federal Highway Police on Brazilian federal highways during 2009, from the mathematic treatment of the related factors, in the case the AADT (Annual Average Daily Traffic) by lane and urban and / or rural range and / or extension of the stretches.

In addition, criteria for parameterization of the severity of accidents was used, to identify the opportunity to use them to identify the segments with the highest concentration of occurrences, based on their social costs.

This set of information was worked from software with the use of data processing tools, with the purpose of arriving at mathematical models that allowed to define the relationships of the factors of greater relevance, in the analysed sections.

Geospatial studies were incorporated that will allow not only the geographic location of the stretches but also their confrontation with socioeconomic information, to understand if there is a direct correlation between these indicators in the Regions, States and Metropolitan Regions of Brazil.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Objetivo e Hipótese da Tese.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Justificativa e Relevância do Trabalho.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3. Contribuição e Originalidade .....</b>	<b>6</b>
<b>1.4. Estrutura do Trabalho .....</b>	<b>7</b>
<b>2. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS DE ACIDENTES DE TRÂNSITO EM RODOVIAS.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Resumo dos dados de acidentes ocorridos em rodovias federais brasileiras durante o ano de 2009. ....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Estudos sobre os Fatores Relacionados aos Acidentes .....</b>	<b>15</b>
2.2.1 Fatores relacionados aos acidentes envolvendo pedestres .....	16
2.2.2 Fatores relacionados aos acidentes envolvendo Ciclistas.....	20
2.2.3 Fatores relacionados aos acidentes envolvendo motociclistas .....	25
2.2.4 Fatores relacionados à idade dos condutores.....	30
2.2.4.1 Fatores relacionados aos acidentes envolvendo Jovens .....	31
2.2.5 Fatores relacionados aos acidentes envolvendo idosos .....	33
2.2.6 Fatores relacionados ao comportamento dos condutores .....	38
2.2.7 Fatores relacionados ao ambiente.....	40
2.2.8 Fatores relacionados às vias de tráfego .....	44
2.2.9 Número de acidentes relacionados aos períodos de feriados nacionais ...	49
<b>2.3. A tecnologia embarcada em veículos e a oportunidade de sua utilização de forma preventiva a acidentes fatais .....</b>	<b>59</b>
<b>3. TRATAMENTO DE DADOS DE ACIDENTES EM RODOVIAS COM ENFOQUE ESPACIAL .....</b>	<b>64</b>
<b>3.1 A importância do uso de Sistemas de Informações Geográficas no tratamento de dados sobre acidentes de trânsito.....</b>	<b>64</b>
<b>3.2 Os fatores relacionados aos acidentes .....</b>	<b>72</b>
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>81</b>
<b>4.1 A concepção do sistema .....</b>	<b>81</b>
<b>4.2 O tratamento de fatores relacionados aos acidentes em alguns países e as possibilidades de tratamento das informações.....</b>	<b>92</b>

<b>4.3</b>	<b>Bases metodológicas para a estruturação e tratamento das informações no sistema proposto .....</b>	<b>95</b>
4.3.1	Tratamento estatístico dos dados .....	97
<b>5.</b>	<b>APLICAÇÃO DOS MÉTODOS .....</b>	<b>100</b>
<b>5.1</b>	<b>Resultados obtidos com o tratamento matemático dos dados .....</b>	<b>100</b>
5.1.1	Variáveis que explicam o fenômeno .....	100
5.1.2	Melhores funções matemáticas da regressão .....	103
<b>5.2</b>	<b>Tratamento geográfico dos dados sobre acidentes .....</b>	<b>104</b>
<b>5.3</b>	<b>Inserção do Índice de Desenvolvimento Humano no Tratamento dos Dados sobre acidentes .....</b>	<b>120</b>
5.3.1	O tratamento por Região .....	120
5.5.2	O tratamento por Estado .....	132
5.5.3	O tratamento por Região Metropolitana .....	143
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>156</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>160</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 - Mortalidade no trânsito em países com mais de 60 milhões de habitantes..	9
Figura 2-2 - Acidentes por quilometro no período de 1952 a 2010, na malha rodoviária federal brasileira, policiada.....	10
Figura 2-3 – Veículos acidentados na malha rodoviária federal policiada, no período de 1957 a 2010. ....	13
Figura 2-4 - Mortos em acidentes de trânsito nos EUA, no período de 1994 a 2015 por tipo de veículo .....	14
Figura 2-5 – Veículos envolvidos em acidentes de trânsito na malha rodoviária federal policiada, segundo sua finalidade e gravidade do acidente no ano de 2009. ....	15
Figura 2-6 – Vitimados por acidente na malha rodoviária federal policiada, no período de 2007 a 2009. ....	16
Figura 2-7 – Atropelamentos envolvendo pedestres e ciclistas na malha rodoviária federal policiada, no período de 2007 a 2009.....	18
Figura 2-8 – Mortes por acidentes de trânsito por usuário da via e Região do Mundo..	19
Figura 2-9 – Indenizações por morte, tipo de veículo e vítima - Jan a Dez 2013 .....	27
Figura 2-10 – Número de indenizações pagas pelo DPVAT de 2011 a 2013.....	28
Figura 2-11 – Motoclistas envolvidos em acidentes de trânsito segundo o uso do capacete na malha rodoviária federal policiada, no período de 2007 a 2009.....	29
Figura 2-12 - Condutores envolvidos em acidentes de trânsito em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, segundo a faixa etária. ....	30
Figura 2-13 – Vitimados por acidentes de trânsito em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, segundo o sexo e sua faixa etária. ....	32
Figura 2-14 – Acidentes, envolvendo um único veículo, por gravidade, sexo e faixa etária dos condutores. ....	35
Figura 2-15 – Acidentes, envolvendo dois ou mais veículos, por gravidade, sexo e faixa etária dos condutores. ....	36
Figura 2-16 – Número de condutores envolvidos em acidentes com um veículo, ocorridos em rodovias federais, durante o ano de 2009, por gravidade categoria e tempo de habilitação.....	37
Figura 2-17 – Número de condutores envolvidos em acidentes com dois ou mais veículos, ocorridos em rodovias federais, durante o ano de 2009, por gravidade, categoria e tempo de habilitação.....	38
Figura 2-18 – Condutores envolvidos em acidentes de trânsito em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, segundo o uso do cinto de segurança.....	39
Figura 2-19 – Gravidade do acidente de trânsito em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, segundo a condição meteorológica. ....	41
Figura 2-20 – Gravidade do acidente de trânsito em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, por fase do dia. ....	42

Figura 2-21 – Acidentes de trânsito ocorridos em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, por dia de semana, consolidado por mês. ....	43
Figura 2-22 – Acidentes de trânsito em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, por uso do solo e tipo de localidade. ....	44
Figura 2-23 – Número de acidentes de trânsito em rodovias federais brasileiras, ocorridos em áreas urbanas, durante o ano de 2009, por gravidade. ....	47
Figura 2-24 – Número de acidentes de trânsito em rodovias federais brasileiras, ocorridos em áreas rurais, durante o ano de 2009, por gravidade. ....	48
Figura 2-25 – Número de acidentes de trânsito em rodovias federais brasileiras, por gravidade, ocorridos em períodos de feriados nacionais durante o ano de 2009. ....	50
Figura 2-26 – Participação percentual dos acidentes de trânsito em rodovias federais brasileiras, por gravidade, ocorridos em períodos de feriados nacionais durante o ano de 2009. ....	52
Figura 2-27 – Participação percentual nos acidentes ocorridos em feriados nacionais nas federais brasileiras, por tipo de veículo durante o ano de 2009. ....	53
Figura 2-28 – Número de acidentes ocorridos em feriados nacionais nas federais brasileiras, por tipo de veículo durante o ano de 2009. ....	55
Figura 2-29 – Número de pessoas envolvidas em acidentes ocorridos por mês nas rodovias federais brasileiras, por gravidade, durante o ano de 2009. ....	56
Figura 2-30 – Total de acidentes registrados nos EUA por gravidade nos anos de 2014 e 2015, em milhares de acidentes. ....	57
Figura 2-31 – Comparação entre o tamanho da frota registrada e o número de acidentes com mortos Brasil x EUA no ano de 2013. ....	58
Figura 2-32 – Percentual de condutores envolvidos em acidentes em rodovias federais brasileiras durante o ano de 2009, por estado físico e ingestão de álcool e gravidade do acidente. ....	59
Figura 2-33 – Fatalidades ocorridas em acidentes de trânsito nos EUA, no período de 1975 a 2015, por ocupantes e não ocupantes de veículos ....	60
Figura 2-34 – Quantidade de acidentes ocorridos nas rodovias federais, durante o ano de 2009, a partir de sua gravidade por tempo de viagem desde a última parada e quilometragem já percorrida desde o início da viagem. ....	62
Figura 3-1 – Diagrama Espelhado de Moran. Adaptado pelo autor. ....	69
Figura 4-1 – Diagrama resumido do tratamento dos dados. ....	82
Figura 4-2 - Brasil, municípios e acidentes de trânsito ocorridos em rodovias federais, durante o ano de 2009. ....	85
Figura 4-3 - Mapa de calor de acidentes, associado com o IDH-M dos municípios brasileiros ....	88
Figura 4-4 - Brasil, trechos de rodovias classificados pelo Índice de Severidade dos acidentes ocorridos durante o ano de 2009. ....	91
Figura 4-5 – Distribuição mensal dos acidentes de trânsito em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, por gravidade da ocorrência. ....	93
Figura 4-6 – Classificação por tipo e gravidade dos acidentes de trânsito em rodovias	

federais brasileiras, durante o ano de 2009.....	94
Figura 4-7 – Classificação dos acidentes de trânsito com Morto, ocorridos em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, por tipo.....	95
Figura 5-1 – Distribuição dos cerca de 159.000 acidentes ocorridos em rodovias federais durante 2009 .....	105
Figura 5-2 – Mapa de calor do total de acidentes ocorridos em rodovias Federais durante 2009 .....	107
Figura 5-3 – Mapa de calor dos acidentes sem vítimas ocorridos em rodovias Federais durante 2009 .....	108
Figura 5-4 – Mapa de calor dos acidentes com feridos ocorridos em rodovias Federais durante 2009 .....	110
Figura 5-5 - Mapa de calor dos acidentes com mortos ocorridos em rodovias Federais durante 2009 .....	111
Figura 5-6 - Mapa do Unidade Padrão de Severidade de Acidentes, por trecho de contagem de VDMA em rodovias Federais durante 2009 .....	113
Figura 5-7 - Mapa do Unidade Padrão de Severidade de Acidentes, por trecho de contagem de VDMA em rodovias Federais, na Região Sul do Brasil durante 2009 ..	114
Figura 5-8 - Mapa do Unidade Padrão de Severidade de Acidentes, por trecho de contagem de VDMA em rodovias Federais, na Região Sudeste do Brasil durante 2009 .....	116
Figura 5-9 - Mapa do Unidade Padrão de Severidade de Acidentes, por trecho de contagem de VDMA em rodovias Federais, na Região Nordeste durante 2009.....	117
Figura 5-10 - Mapa ampliado das capitais da Região Nordeste com maiores Unidades Padrão de Severidade de Acidentes em rodovias Federais, na Região Nordeste durante 2009 .....	119
Figura 5-11 – Mil acidentes sem vítimas por quilômetro nos trechos com medição de VDMA (2009) x IDH-M (2010), por Região.....	121
Figura 5-12 - Mapa do Brasil com o IDH-M por Regiões .....	122
Figura 5-13 - Mapa do Brasil mil acidentes sem vítimas por quilômetro .....	123
Figura 5-14 – Mil acidentes com feridos por quilômetro nos trechos com medição de VDMA (2009) x IDH-M (2010), por Região.....	124
Figura 5-15 - Mapa do Brasil por Região, mil acidentes com feridos por quilômetro. 125	
Figura 5-16 – Mil acidentes com Morto por quilômetro nos trechos com medição de VDMA (2009) x IDH-M (2010), por Região.....	126
Figura 5-17 - Mapa do Brasil por Região, mil acidentes com Morto por quilômetro.. 127	
Figura 5-18 – Total de acidentes (mil) por quilômetro nos trechos de medição de VDMA (2009) x IDH-M (2010), por Região. ....	128
Figura 5-19 - Mapa do Brasil por Região, total de acidentes (mil) por quilômetro ....	129
Figura 5-20 – UPS (mil) por quilômetro nos trechos de medição de VDMA (2009) x IDH-M (2010), por Região.....	130
Figura 5-21 - Mapa do Brasil UPS por quilômetro, por Regiões.....	131

Figura 5-22 – Mil acidentes sem vítimas por quilômetro nos trechos de medição de VDMA (2009) x IDH-M (2010), por Estado. ....	133
Figura 5-23 - Mapa do Brasil com o IDH-M por Estado .....	134
Figura 5-24 - Mapa do Brasil mil acidentes sem vítima por quilômetro, por Estado .	135
Figura 5-25 – Mil acidentes com feridos por quilômetro nos trechos de medição de VDMA (2009) x IDH-M (2010), por Estado. ....	136
Figura 5-26 - Mapa do Brasil mil acidentes com feridos por quilômetro, por Estado	137
Figura 5-27 – Mil acidentes com morto por quilômetro nos trechos de medição de VDMA (2009) x IDH-M (2010), por Estado.....	138
Figura 5-28 – Total de acidentes por quilômetro (x 1.000) nos trechos de medição de VDMA (2009) x IDH-M (2010), por Estado. ....	139
Figura 5-29 - Mapa do Brasil total de acidentes por quilômetro (mil), por Estado.....	140
Figura 5-30 – UPS por quilômetro nos trechos de medição de VDMA (2009) x IDH-M (2010), por Estado. ....	141
Figura 5-31 - Mapa do Brasil UPS por quilômetro, por Estado.....	142
Figura 5-32 - Mapa do Brasil com o IDH-M por Região Metropolitana .....	145
Figura 5-33 – Acidentes sem vítimas, por quilômetro, em rodovias federais no ano de 2009 x IDH-M, por Região Metropolitana.....	147
Figura 5-34 – Mapa de acidentes sem vítimas por quilômetro, nas Regiões Metropolitanas, ocorridos no ano de 2009, em rodovias federais. ....	148
Figura 5-35 – Total de acidentes por quilômetro em rodovias federais no ano de 2009 x IDH-M, por Região Metropolitana.....	150
Figura 5-36 - Mapa do total de acidentes por quilômetro, nas Regiões Metropolitanas, ocorridos no ano de 2009, em rodovias federais. ....	151
Figura 5-37 – UPS por quilômetro em rodovias federais no ano de 2009 x IDH-M, por Região Metropolitana .....	153
Figura 5-38 - Mapa UPS por quilômetro, nas Regiões Metropolitanas, ocorridos no ano de 2009, em rodovias federais. ....	154

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Matriz de Haddon .....	12
Tabela 2.2 – Fatores causadores de acidentes envolvendo Pedestres e Ciclistas .....	22
Tabela 2.3 – Artigos relacionados ao trânsito de bicicletas em vias públicas.....	24
Tabela 4.1 -- Dados trabalhados em regressões (fonte: o autor) .....	98

# 1. INTRODUÇÃO

Acidentes de trânsito são a oitava causa de óbitos a nível mundial, sendo a maior em jovens com idades entre 15 a 29 anos. Mais de um milhão de pessoas morrem anualmente nas vias em todo mundo, o que reflete num gasto de bilhões de dólares no trato das consequências destes acidentes. As projeções atuais sugerem que até 2030, o número de mortes no trânsito se tornará a quinta maior causa no mundo, a menos que medidas urgentes sejam tomadas (WHO, 2013).

Segurança no trânsito é uma grande preocupação para os órgãos públicos e população em geral. Acidentes em vias de trânsito são responsáveis por muitas mortes e causam perdas econômicas substanciais a cada ano. Em 2015 foram 35.092 vítimas fatais e 2,44 milhões de feridos em acidentes nas rodovias dos EUA, um crescimento de 7,2% e 8,1% em relação ao ano anterior (NHTSA, 2016). A situação é de particular interesse em estradas rurais de duas pistas, que experimentam taxas de mortalidade significativamente mais elevadas do que as vias urbanas. Ao longo da última década, houve uma tendência decrescente no número de fatalidades no trânsito (excetuando o ano de 2012). Apenas para se ter uma noção do ganho trazido pelos Programas de Segurança introduzidos, em 2006, foram 42.708 pessoas mortas em acidentes de trânsito. O uso de cintos de segurança e a correção de erros na condução têm funcionado substancialmente na redução do número de acidentes de trânsito ao longo dos anos. Além disso, as melhorias introduzidas nos veículos como: *Air Bags*, Sistema de Controle de Estabilidade, sistemas de frenagem mais eficientes (ABS), dentre outros, contribuíram bastante para a redução das mortes no trânsito. No entanto, com o grande aumento de fatalidades em 2015, todo este ganho obtido em uma década foi parcialmente perdido (NHTSA, 2016).

Segundo CONTADOR E OLIVEIRA (2016) o Brasil tem um destaque deplorável quando se trata dos acidentes de trânsito. Nas estatísticas internacionais da Organização Mundial de Saúde para 2010 ostentamos a desonrosa quarta posição no número de mortos – após China, Índia e Nigéria – e o quinto lugar no número de acidentes por habitante – após Venezuela, Nigéria, África do Sul e Angola. Sob qualquer ângulo, as estatísticas do Brasil comparadas com outros países chocam: em dezesseis anos de duração, a Guerra do Vietnã teve menor número de mortos americanos do que os acidentados fatais decorrentes do trânsito em um ano no Brasil. Em números globais, a WHO (2015) (OMS –

Organização Mundial da Saúde) estima que em 2013, 1,25 milhões de pessoas perderam a vida, sendo que o número de acidentados se aproxima de 50 milhões por ano. Por trágica constatação, os países emergentes e em desenvolvimento concentram a maior parcela de vítimas, com agravante de atingir com mais intensidade a faixa mais jovem e ativa da população.

CONTADOR E OLIVEIRA (2016) calcularam em R\$ 220 bilhões o valor das perdas durante o ano de 2014 com mortos e feridos em acidentes de trânsito no Brasil, tendo considerado como componentes dos custos: congestionamento; primeiros socorros; hospitalização; perda de produto e renda (falecimento e invalidez); e os custos com tratamentos e reabilitação.

Apesar das fábricas produzirem veículos mais seguros e as estradas estarem sendo projetadas com maior atenção à segurança ativa e passiva, os acidentes estão se tornando mais graves em muitos aspectos, especialmente em sociedades onde o índice de motorização está aumentando (MA *et al.*, 2013).

SHEN *et al.* (2012) relatam que em relação a exposição ao risco, os dados populacionais são mais comumente usados uma vez que eles estão prontamente disponíveis na maioria dos países. Assim, a taxa de mortalidade é considerada como um critério importante para a avaliação da segurança rodoviária pois permite comparações com outras causas de morte, como por exemplo, doenças cardíacas. No entanto, para a comparação de riscos de tráfego este indicador tem a desvantagem de não apropriar o nível de motorização no cálculo.

Acidentes de trânsito são um problema importante, não só por causa do tempo de viagem perdido ou custo de danos materiais, mas principalmente por causa da perda de vidas humanas e ferimentos graves sofridos. Na Europa, o transporte rodoviário representa 88% de todo o transporte de passageiros, mas é responsável por 100 vezes mais mortes do que todos os outros modais (ferroviário, aéreo, marítimo, etc.) juntos (FERSI / ECTRI, 2009). Em 2010, cerca de 31.000 pessoas morreram em 27 Estados-Membros da União Europeia (UE-27) em consequência de acidentes de trânsito e cerca de 300.000 ficaram gravemente feridos e muitos mais sofreram ferimentos leves (CTCE, 2011). Estes números representam não só a redução da produtividade do trabalhador e o trauma, afetando a vida privada da vítima, mas também causa grande estresse emocional e financeiro para milhões de famílias.

O Brasil ocupa o terceiro lugar com 41.059 mortes em acidentes de trânsito durante o ano de 2013, superado somente pela Índia e China, respectivamente com 137.572 e 62.945 mortes. (WHO, 2015).

Torna-se mister, portanto, o desenvolvimento de ferramentas de predição de acidentes que permitam, a partir do tratamento histórico dos acidentes ocorridos em um certo trecho de uma via, atuar de forma preditiva, para se evitar uma nova ocorrência ou pelo menos atenuar suas consequências.

### **1.1. Objetivo e Hipótese da Tese**

O objetivo deste estudo é desenvolver uma metodologia de análise e previsão de quantidades e gravidade dos acidentes de trânsito, a partir do tratamento matemático dos fatores relacionados ao histórico de acidentes ocorridos em uma mesma região, com base nas informações disponíveis nos bancos de dados, sobre acidentes de trânsito, dos setores públicos responsáveis pelas atividades relacionadas ao trânsito e segurança pública, a fim de sugerir a implantação de mecanismos de controle e sugestão de conduta preventiva.

Considera-se relevante para aplicação da metodologia:

- A posição GPS do local dos acidentes ocorridos durante o ano de 2009 - Essas Informações serão consolidadas e transformadas em dados georreferenciados, o que permitirá o uso da Ferramenta GIS, com a finalidade de identificar os trechos de maior ocorrência dos acidentes de uma certa região;
- O volume de tráfego, nas vias das regiões analisadas em períodos compatíveis com aqueles dos acidentes observados;
- As extensões urbanas e rurais dos trechos analisados; e
- O número de faixas de rolamento dos trechos analisados.

Esse conjunto de informações foi trabalhado a partir de software com o uso de ferramentas de tratamento de dados, com a finalidade de se chegar a modelos matemáticos que permitam definir os relacionamentos dos fatores de maior relevância, nos trechos analisados.

Entende-se que o uso da presente metodologia orienta critérios que permitem estabelecer uma hierarquia na execução de investigações, com maior nível de detalhamento, dos fatores envolvidos em determinados trechos, a partir do elevado índice de correlação entre os parâmetros associados aos acidentes naqueles pontos de maior prevalência, resultando em uma ferramenta simples de predição de acidentes com vistas a implementação de

mecanismos de controle e sugestão de conduta preventiva. Isto pode refletir, portanto, em uma menor ocorrência de acidentes fatais e ferimentos em acidentes de trânsito, ampliando, e diversificando ainda mais a utilidade de tais informações. Assim, ao final do presente trabalho serão apresentados modelos matemáticos preditivos sobre o número de acidentes esperados e sua severidade em um determinado trecho.

Foram estabelecidas hipóteses, com base em pesquisa bibliográfica atualizada, que tornou evidente o nível de defasagem atual do país, em relação a outros países, em termos de políticas e tratamento de informações relacionadas aos acidentes de trânsito, bem como de medidas preventivas e preditivas. Assim são formuladas as seguintes hipóteses para a presente tese:

- A partir das variáveis explicativas obtidas nas bases de dados de acidentes ocorridos em rodovias federais, no ano de 2009 (Volume Diário Médio Anual de veículos por trechos – VDMA, número de faixas das vias e extensão rural e urbana dos trechos) obter um modelo matemático de projeção de acidentes que seriam as variáveis a serem explicadas (total de acidentes, gravidade e índice de severidade dos acidentes no trecho);
- Analisar a partir de mapas a existência de relações entre os acidentes (total de acidentes, sua gravidade e severidade por trecho) e indicadores sócio econômicos como o IDH-M, por exemplo, nos trechos com medição de VDMA.

Entende-se que ao se estruturar uma metodologia de tratamento deste conjunto de informações são criadas condições, para, por exemplo, uma central de monitoramento de tráfego, atuar de forma preventiva ou preditiva, sempre que os dados recebidos evidenciarem um risco acima de moderado, para a ocorrência de um acidente fatal.

## **1.2. Justificativa e Relevância do Trabalho**

Aos 03 de Março de 2010, em Assembleia Geral das Organizações Unidas, Governantes Mundiais elegeram o período de 2011 a 2020 como a Década de Ação para a Segurança Viária a ser patrocinada por mais de 90 países.

Coube à Organização Mundial da Saúde - World Health Organization (WHO) a tarefa de monitorar um relatório que serviria de linha de base para a avaliação do estado da segurança viária no início de 2011. O apoio de forma unânime demonstra a consciência dos níveis epidemiológicos alcançados pelo número de mortes, invalidez permanentes e

hospitalizações em decorrência de acidentes de trânsito, trazendo uma indesejável sobrecarga aos indivíduos e comunidades, e às economias dos países. O relatório inicial mostrava que 1,24 milhão de pessoas haviam morrido nas vias em todo o mundo durante o ano de 2010, porém segmentando esta informação observa-se que acidentes de trânsito é maior causa mortis para a população com faixa etária entre 15 e 29 anos, com cerca de 320.000 óbitos (WHO, 2015).

Tal fato seria agravado com as perspectivas de crescimento de economias emergentes, que inevitavelmente repercutiriam no aumento de suas frotas e conseqüentemente de acidentes.

Estudos apontavam que tais acidentes estariam relacionados a necessidades prementes de intervenções de segurança viária, com a incorporação de legislação mais severa de forma a conter os principais fatores de risco evidenciados como, por exemplo: redução da velocidade, proibição de ingestão de álcool antes de dirigir, regulamentação em relação ao uso e padrão de segurança com a implementação compulsória de sistemas de segurança ativa (controle de tração e de estabilidade, ABS, por exemplo) e sistemas de segurança passiva (*air bags*, capacetes, cintos de segurança e sistemas de retenção para crianças - “*Isofix*”, encosto de cabeça). Desde 2008, 35 países aprovaram novas leis ou alteraram a legislação existente abrangendo um ou mais desses fatores de risco. No entanto, em muitos países, estas leis não são abrangentes em seu escopo ou têm falhas em sua aplicação (WHO, 2013).

Na Conferência das Nações Unidas Rio+20, sobre Desenvolvimento Sustentável, foi tornada evidente a ligação entre a segurança viária e o desenvolvimento sustentável. O incentivo de políticas de transportes sustentáveis deve incluir as formas não motorizadas de transporte acessível e seguro. Cerca de metade das mortes relacionadas a acidentes de trânsito envolvem o grupo classificado como vulneráveis: Pedestres (22%), Ciclistas (4%) e Motociclistas (23%), WHO (2015).

Entende-se que a conjugação do emprego da Ferramenta GIS, para localizar os pontos críticos das grandes cidades, onde acontecem as maiores concentrações de acidentes, e o uso de ferramentas matemáticas que permitam o tratamento dos relacionamentos entre os fatores associados a este tipo de acidentes, certamente criarão condições de sugerir soluções proativas no sentido de reduzir a mortalidade no trânsito.

### **1.3. Contribuição e Originalidade**

O presente estudo busca contribuir para o estudo de fatores associados aos acidentes de trânsito, utilizando concepções e metodologias consistentes, visando a estabelecer uma forma de evidenciar e tratar seus fatores. Espera-se oferecer as seguintes contribuições:

- Proposta de metodologia atual, consistente e de amplo uso, com base em ferramenta GIS, aplicada aos dados sobre acidentes de trânsito das rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009;
- Proposta de entendimento do relacionamento do fluxo de veículos, por faixa de tráfego, intervalos de horários, dos fatores e seus impactos sobre os acidentes analisados. O presente estudo ficará limitado aos segmentos das rodovias federais brasileiras onde no mesmo ano, foi feita a contagem volumétrica de veículos que permitiram o estabelecimento de Volumes Diário Médio Anual (VDMA);
- Proposta de modelagem matemática integrando diferentes informações relacionadas aos acidentes permitindo inferir o risco de ocorrência de um acidente, em um certo instante, a partir da identificação da existência de alguns fatores determinantes em um certo ponto geográfico, o que poderia permitir ações preventivas no sentido de inibir as ocorrências circunstanciais desses ou de outros fatores complementares que naquele ponto são relevantes para a ocorrência de um acidente, o que se espera resultaria na redução desses acidentes.

Entende-se como inovações trazidas pelo presente trabalho:

- Consolidação de todos os acidentes ocorridos em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, por trechos compatíveis àqueles onde no mesmo ano foram feitas medições de VDMA;
- Tratamento dos acidentes em função do seu grau de severidade;
- Segmentação das informações acima, por Região, Estados e Regiões Metropolitanas do Brasil;
- Utilização dos parâmetros de VDMA rateado pelo número de faixas da via; e
- Tratamento do percentual de trechos urbanos nos segmentos analisados.

A escolha do ano de 2009 deve-se principalmente à quantidade de medições de VDMA disponíveis para este ano (cerca de 2.100 segmentos de rodovias federais – doravante denominados como trechos).

Pressupõe-se que com a aplicação destes novos indicadores, são criados parâmetros relevantes com vistas à uma modelagem matemática preditiva de acidentalidade e severidade por trecho de qualquer rodovia brasileira a partir dos dados de VDMA e percentual urbano daquele trecho.

Os dados sobre acidentes foram obtidos a partir de pesquisa nos bancos de dados dos Boletins de Registro de Acidentes da Polícia Rodoviária Federal, ocorridos no período entre zero hora do dia 01 de janeiro de 2009 e vinte e quatro horas do dia 31 de dezembro de 2009. Já os dados sobre VDMA do ano de 2009 foram obtidos junto ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

#### **1.4. Estrutura do Trabalho**

Este estudo está dividido em seis capítulos, assim distribuídos:

- Capítulo 1 – Introdução – Neste capítulo apresenta-se a justificativa e relevância do trabalho, seus objetivos e hipóteses e finalmente sua contribuição e originalidade
- Capítulo 2 - Apresentação do Problema – Neste capítulo, através de pesquisa bibliográfica, apresentam-se estudos realizados sobre os fatores relacionados aos acidentes de trânsito para permitir um melhor entendimento do grau de importância destes fatores na ocorrência de um acidente de trânsito.
- Capítulo 3 – Revisão Bibliográfica – Neste capítulo será feita uma análise sobre a importância do uso de Sistemas de Informação Geográfica no tratamento das informações fornecidas pela Polícia Rodoviária Federal e pelo DNIT, relativas a acidentes de trânsito nas rodovias federais brasileiras e volumes de tráfego medidos nos mesmos trechos durante o ano de 2009 e dos fatores relacionados aos acidentes rodoviários.
- Capítulo 4 – Metodologia – Neste capítulo será feita proposta de concepção do sistema.
- Capítulo 5 - Bases metodológicas para a estruturação e tratamento das informações no sistema proposto – Neste capítulo, discorre-se sobre diferenciações em metodologias de tratamento dos fatores relacionados a acidentes e as análises matemáticas do relacionamento dos fatores com vistas a uma proposta de seu tratamento matemático das informações relativas aos acidentes trânsito, e as bases metodológicas para estruturação e tratamento dos

dados das informações disponíveis, no Brasil e no exterior, concluindo por uma que seja considerada como aquela que apresente um resultado esperado mais ajustado à modelagem preditiva. Neste capítulo elabora-se o tratamento geográfico das informações, como forma de se avaliar a qualidade deste método na análise e prevenção de acidentes.

- Capítulo 6 - Conclusão e recomendações – Neste capítulo são apresentados os resultados mais relevantes obtidos, comentar sobre vantagens e desvantagens do uso da metodologia proposta, bem como sugerir recomendações e estudos complementares.

## 2. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS DE ACIDENTES DE TRÂNSITO EM RODOVIAS

Dados da Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OECD, 2014) apontam elevada incidência de mortalidade no trânsito - em 2011 - nos países com mais de 60 milhões de habitantes (Figura 2.1). O Brasil sobressai neste ranking de externalidades negativas do trânsito. É o primeiro colocado em mortes por habitante e segundo em mortes por veículo.

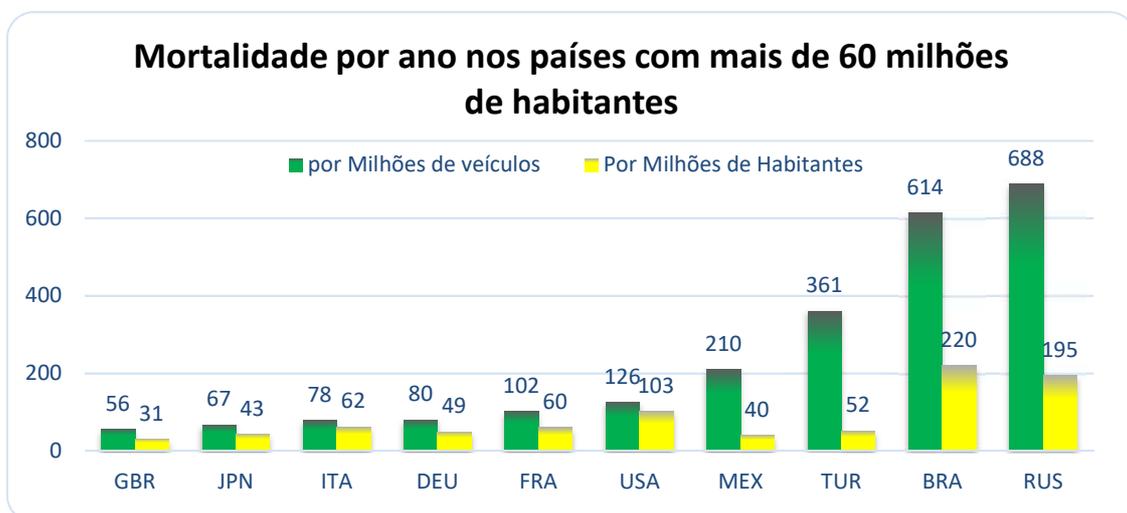
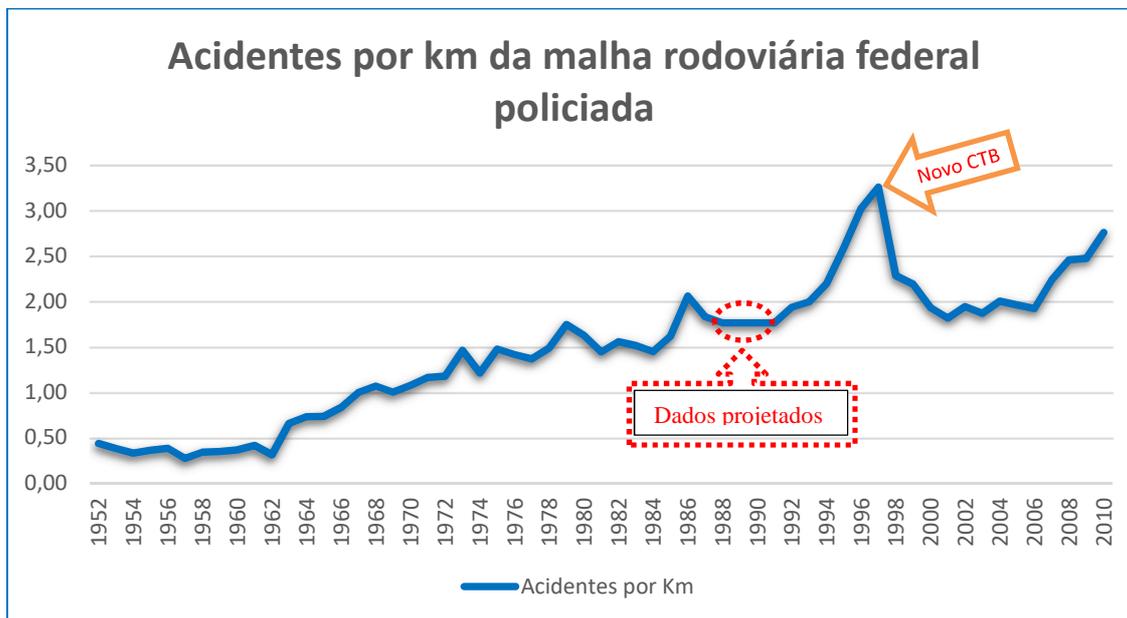


Figura 2-1 - Mortalidade no trânsito em países com mais de 60 milhões de habitantes

Fonte: OECD (2014), adaptado pelo autor.

Segmentando os dados, por faixa etária, observa-se que acidentes de transportes terrestres são as maiores causas de óbitos, que afetam a população mundial entre 15 e 29 anos. O Brasil ocupa o quinto lugar nas estatísticas sobre acidentes de trânsito no mundo (WHO, 2013).

Tomando-se por base o último Anuário Estatístico das Rodovias Federais, do ano de 2010, percebe-se que apesar do crescimento da malha rodoviária ser consistente no período de 1952 a 2010, o incremento de acidentes por quilômetro é muito maior, o que permite inferir que o grau de insegurança vem aumentando de forma significativa na malha rodoviária brasileira, segundo a figura 2.2.



**Figura 2-2 - Acidentes por quilometro no período de 1952 a 2010, na malha rodoviária federal brasileira, policiada**

**Fonte: DNIT (2010), adaptado pelo autor.**

É razoável supor que a queda ocorrida a partir do ano de 1998, coincide com a entrada em vigor do novo código de trânsito, em 23 de setembro de 1997, que estabeleceu penalidades mais rigorosas aos condutores infratores, porém que já se mostram de certa forma ineficazes a partir de 2007, onde se observa a retomada do crescimento da quantidade de acidentes por km.

Segundo o Institute of Transportation Engineers (ITE) (2009) a segurança no trânsito foi apontada como um dos principais problemas epidêmicos de saúde pública. Acidentes de trânsito são a principal causa de morte para indivíduos entre 3 e 33 anos de idade.

Estes números indicam que, apesar dos esforços dos Estados Unidos para melhorar a segurança, as vidas perdidas nas estradas tornam-se um problema significativo de saúde pública. Mantida a média, cerca de 126 pessoas serão mortas em acidentes relacionados com o veículo a cada dia naquele país. Se esses valores fossem aplicados para o modo aéreo, por exemplo, tendo em vista que um avião que acomoda 200 pessoas, os números apontariam para o equivalente a 217 acidentes aéreos com 100% de vítimas fatais acontecendo todos os anos. Isso representaria quatro acidentes a cada semana.

Segundo Paixão *et al.* (2015) os acidentes de trânsito com vítimas são rotineiramente registrados pela autoridade policial local nos boletins de ocorrência (BO). Esse instrumento legal informa sobre o tipo de acidente, número de pessoas envolvidas, se houveram feridos ou mortos. Os casos que demandam atendimento hospitalar são registrados em laudos de internação e prontuários. As vítimas fatais, independentemente do tempo decorrido entre o acidente e a morte, são registradas nas declarações de óbito, que devem ser emitidas pelo Instituto Médico Legal (IML), procedimento obrigatório para os óbitos ocorridos por causas externas.

No Brasil, a base de informações por vezes, apresentam números conflitantes e divergentes. Bases de dados do Ministério das Cidades com base nos índices fornecidos pelo DENATRAN, não coincidem com os fornecidos pelo Ministério da Saúde e estes divergem dos referentes às indenizações por morte relacionadas aos acidentes, pagas pelas Companhias Seguradoras.

O relatório publicado pela OECD/ITF (2008) questiona a importância de uma base de dados confiável e estabelece critérios para a implementação de melhorias. Assim, a gravidade de um acidente e a coleta dos dados relacionados ao desempenho e análise da segurança rodoviária, são requisitos fundamentais para:

- Compreender as tendências de tipos de taxas de acidentes e riscos de acidentes em toda a rede.
- Projetar e desenvolver estratégias eficazes e intervenções de apoio.
- Implantar, de forma eficiente, essas intervenções em áreas de maior risco e / ou onde há maior potencial de se obter melhorias.
- Monitorar a eficácia dos programas.
- Ativar a segurança rodoviária como uma prioridade de ação, desenvolvendo argumentos robustos para a adoção de intervenções.

O objetivo das sugestões é fortalecer a argumentação da importância de sistemas mais eficazes de perícia nos locais dos acidentes fatais, como forma de estruturar uma base de dados consistente e de efetiva utilidade.

Segundo o ITE (2009) o custo para determinar de forma completa, em um acidente, todos os parâmetros que contribuíram para a ocorrência de falhas e sua gravidade é proibitivo, pois é necessária uma análise por uma equipe de especialistas, envolvendo médicos, engenheiros veiculares, engenheiros rodoviários e especialistas em tráfego. Assim, foi

desenvolvida uma metodologia que permite analisar falhas selecionadas e os resultados através do uso de uma “Matriz Haddon”, apresentada na Tabela 2.1.

**Tabela 2.1 – Matriz de Haddon**

	<b>HUMANOS</b>	<b>VEÍCULO / EQUIPAMENTO</b>	<b>AMBIENTE FÍSICO</b>	<b>SOCIAL / ECONÔMICO</b>
<b>ANTES DO ACIDENTE</b>	Visão debilitada Tempo de reação Álcool Velocidade Assunção do risco	Falha dos freios Faróis defeituosos Ausência de sistemas de alerta	Acostamentos estreitos Sinalização ineficiente	Normas culturais consentindo excesso de velocidade Avanço de sinal Dirigir alcoolizado
<b>DURANTE O ACIDENTE</b>	Não uso do cinto de segurança	Mau funcionamento dos cintos de segurança Air bags mal projetados	Erro de projeto dos “ <i>guard rails</i> ”	Falhas na homologação ou no projeto do veículo
<b>APÓS O ACIDENTE</b>	Alto risco Álcool	Erro de projeto dos tanques de combustível	Sistemas precários de comunicação de emergência	Falhas nos serviços de emergência e tratamento de traumas

**Adaptado de Institute of Transportation Engineers (2009)**

Nesta matriz, todos os fatores associados ao acidente são definidos e localizados em cada célula adequada. A coluna ambiente físico inclui também estrada e fatores ambientais, que podem estar associados com a gravidade do acidente. É importante perceber que, ao examinar dados sobre o acidente e relatórios, surgem fatores não identificados, mas que contribuem para a ocorrência de um acidente fatal.

O mesmo trabalho acaba por concluir sobre as dificuldades de custos e pessoal especializado, que envolve uma perícia detalhada de um acidente de trânsito. Porém, sugere que o uso da matriz tenta tornar evidentes os fatores mais significativos para a características do acidente, facilitando a adoção de atitudes preventivas para inibir os fatores contribuintes.

## 2.1 Resumo dos dados de acidentes ocorridos em rodovias federais brasileiras durante o ano de 2009.

Apresentam-se, a seguir, os resultados consolidados pela PRF, no período de 1957 a 2010, com objetivo de se obter uma visão macro dos perfis dos acidentes registrados nas rodovias federais brasileiras.

No tocante aos veículos envolvidos nos acidentes percebe-se uma predominância ao longo de toda a série dos veículos de passeio e de carga. Especificamente durante o ano de 2009, estavam envolvidos em cerca de 49% dos acidentes veículos de passeio, 30% veículos de carga e 10% motocicletas. A figura 2.3 apresenta os dados reportados.

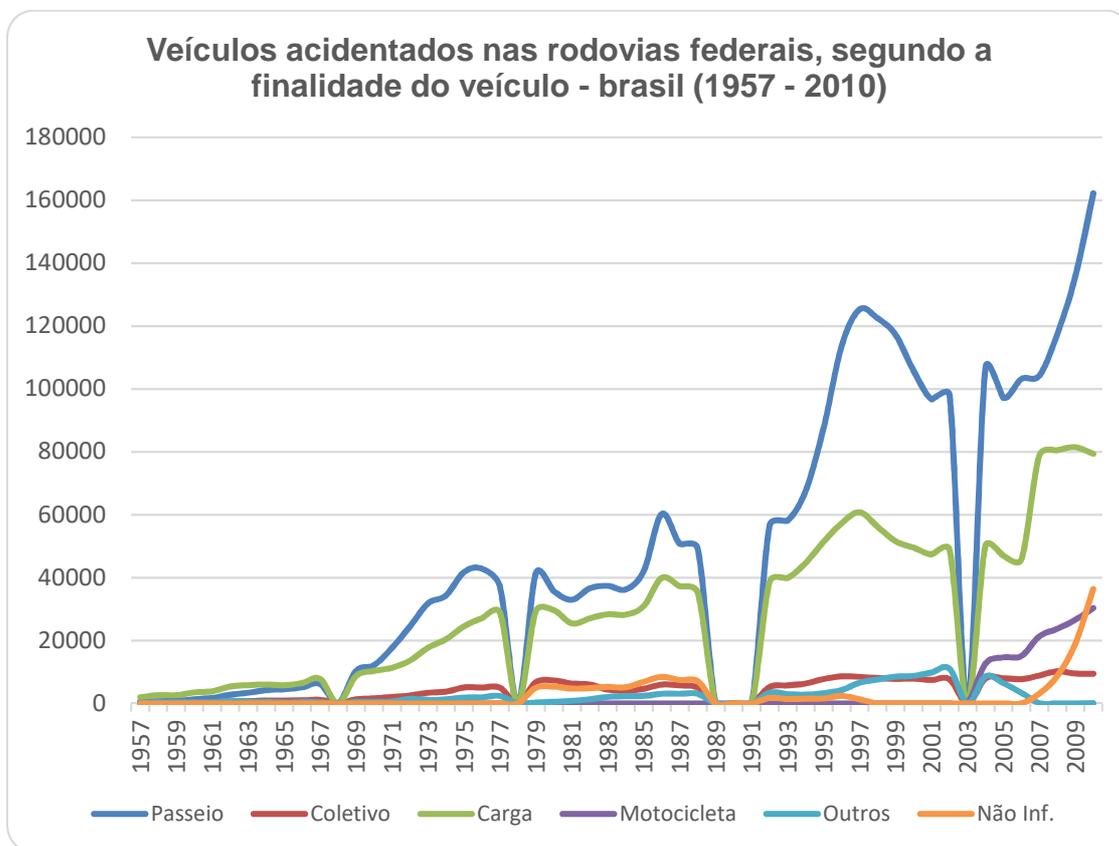
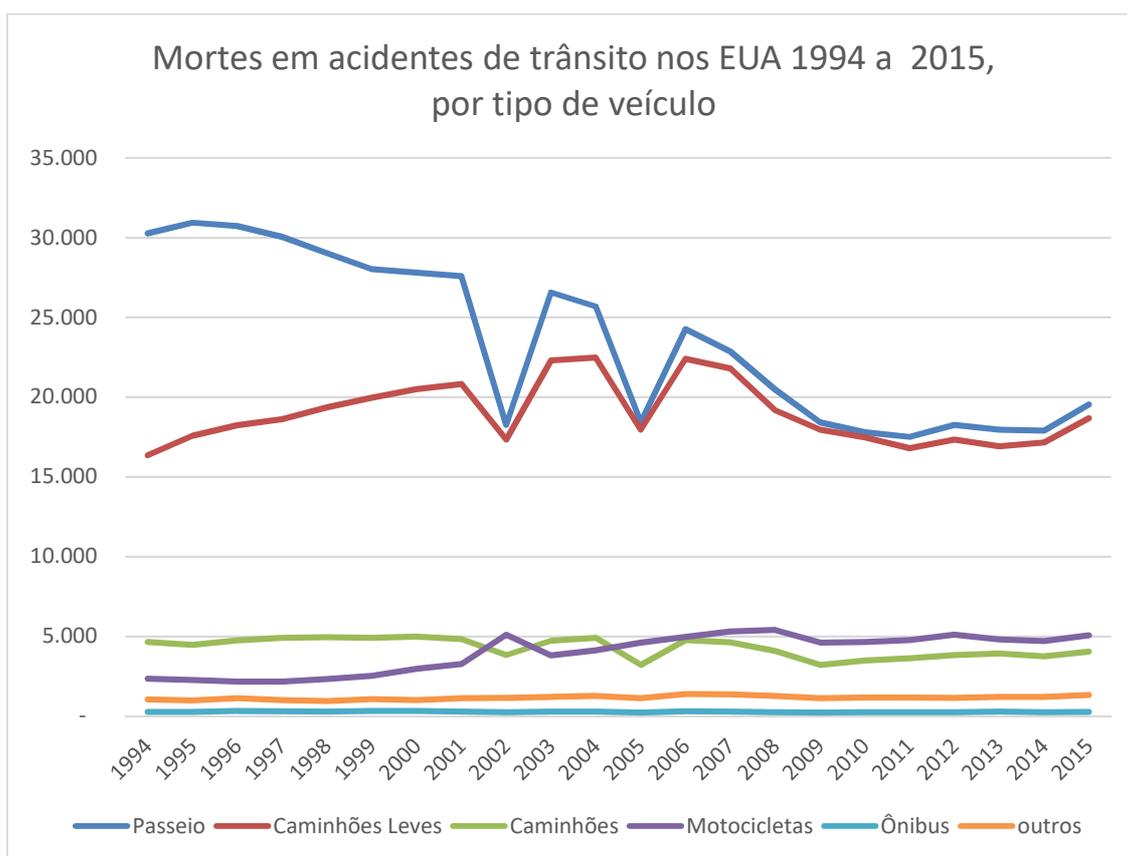


Figura 2-3 – Veículos acidentados na malha rodoviária federal policiada, no período de 1957 a 2010.

Fonte: PRF (2010).

Julga-se relevante o número de ocorrências com a classificação de não informado, o que sugere uma razoável margem de erro nos dados apresentados.

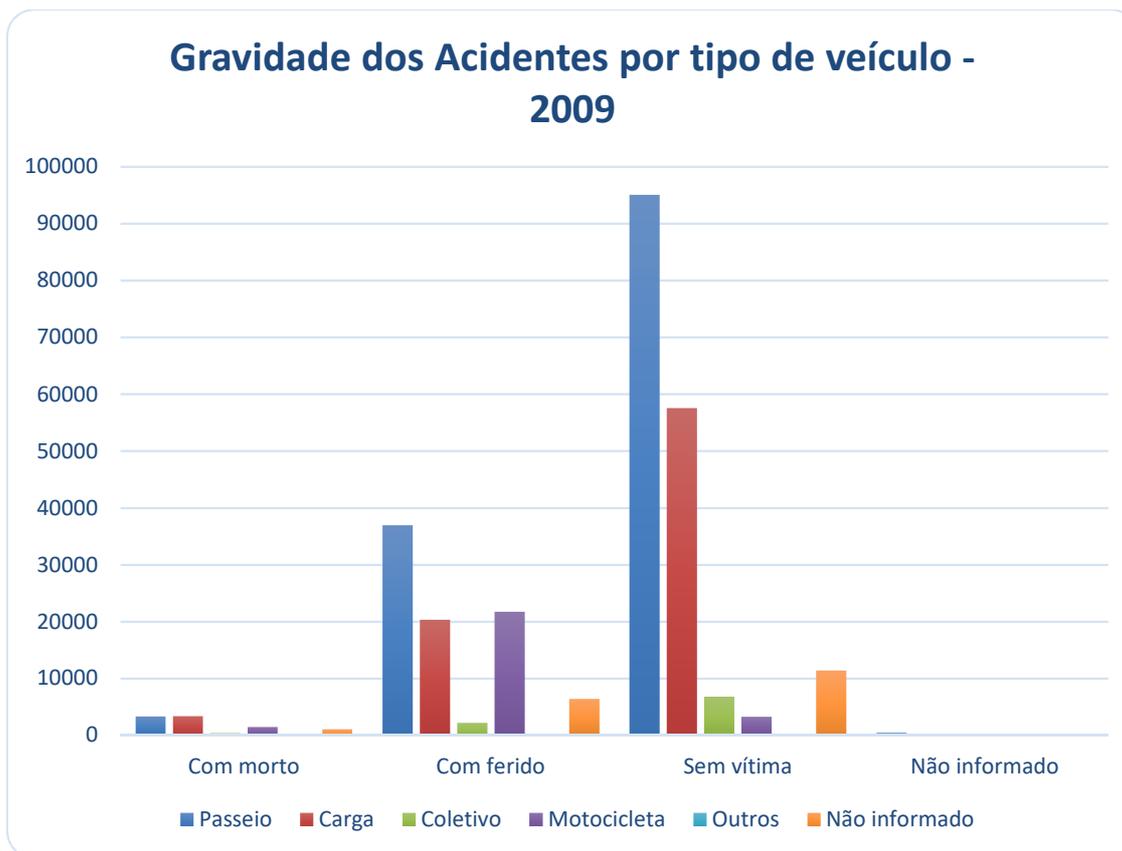
Apenas para efeito de comparação apresenta-se na figura 2.4 as estatísticas de mortos em acidentes de trânsito nos Estados Unidos da América, no período de 1994 a 2015.



**Figura 2-4 - Mortos em acidentes de trânsito nos EUA, no período de 1994 a 2015 por tipo de veículo**  
**Fonte NHTSA (2016). Adaptado pelo autor**

Considera-se relevante observar que para a realidade de uso de veículos da população americana, utilitários muitas vezes substituem veículos de passeio, da mesma forma que caminhões e vans são consideradas como veículos de carga. Ainda assim, de forma similar ao total de acidentes nas rodovias brasileiras, a participação dos veículos de passeio é preponderante aos demais tipos em ambos os países, porém a participação de caminhões no Brasil é significativamente relevante na quantidade de acidentes fatais.

O anexo A, transcreve um resumo da classificação dos acidentes de trânsito ocorridos nas rodovias federais brasileiras no período de 2007 a 2009, segundo a finalidade do veículo e a gravidade dos acidentes. Deste quadro foi possível fazer uma estratificação dos dados relativos às ocorrências do ano de 2009, apresentada na figura 2.5.



**Figura 2-5 – Veículos envolvidos em acidentes de trânsito na malha rodoviária federal policiada, segundo sua finalidade e gravidade do acidente no ano de 2009.**

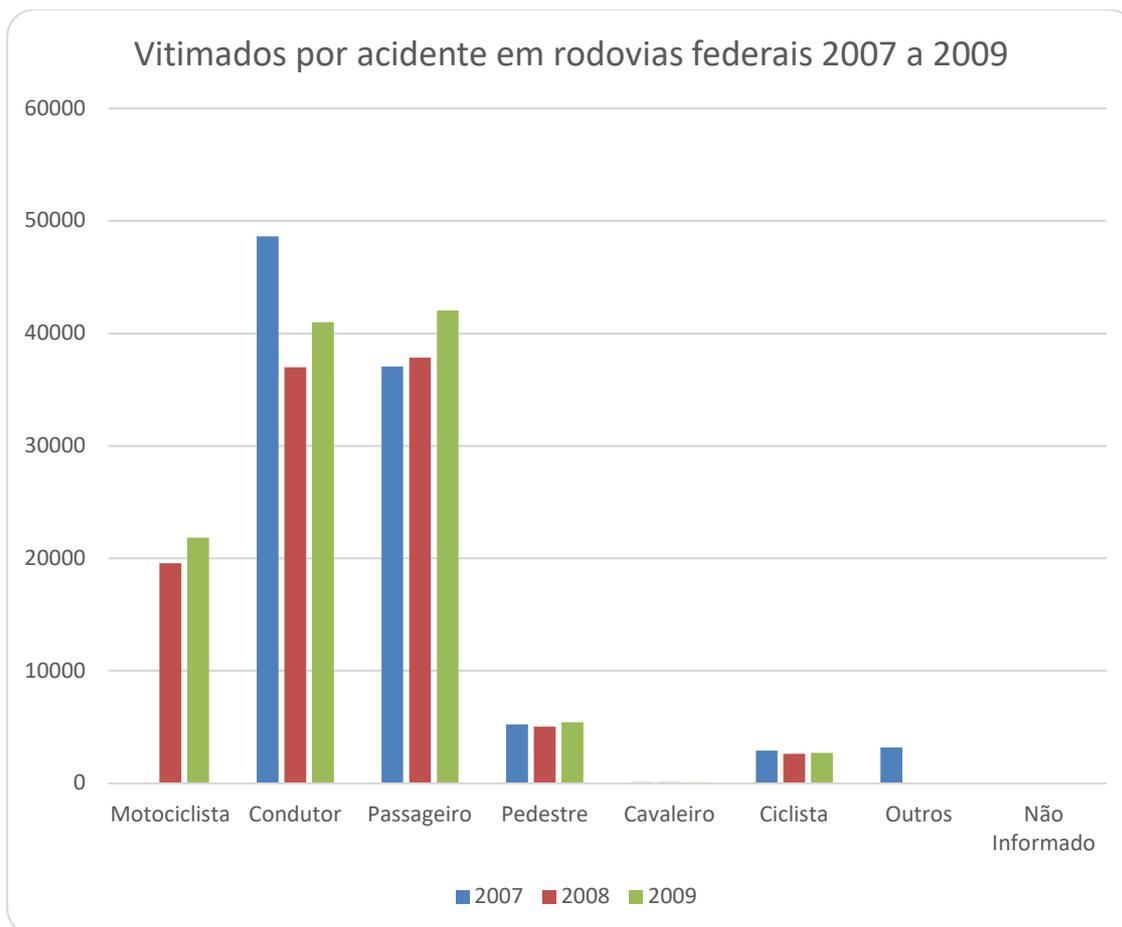
**Fonte: PRF (2010).**

Pelo gráfico acima pode-se concluir que, em valores absolutos, durante o ano de 2009 as categorias de veículos com maior contribuição para os acidentes em rodovias foram os veículos de passeio e os de carga.

## **2.2 Estudos sobre os Fatores Relacionados aos Acidentes**

Como forma de elaborar uma melhor análise e a percepção do grau de importância dos fatores relacionando os acidentes e sua severidade, julga-se oportuno entender com fundamento em pesquisa bibliográfica as peculiaridades relacionadas a cada um desses fatores.

Assim, tomando-se por base o relatório da PRF (2010), foi feita uma consolidação dos dados a partir dos perfis dos vitimados por acidentes ocorridos em rodovias federais durante o período de 2007 a 2009, representada pela figura 2.6.



**Figura 2-6 – Vitimados por acidente na malha rodoviária federal policiada, no período de 2007 a 2009.**

**Fonte: PRF (2010).**

É notória a representatividade do número de vítimas associadas aos ocupantes dos veículos, sejam condutores ou passageiros e em uma escala menor, porém não menos significativo o aumento da participação de acidentes envolvendo motociclistas em estradas federais.

### **2.2.1 Fatores relacionados aos acidentes envolvendo pedestres**

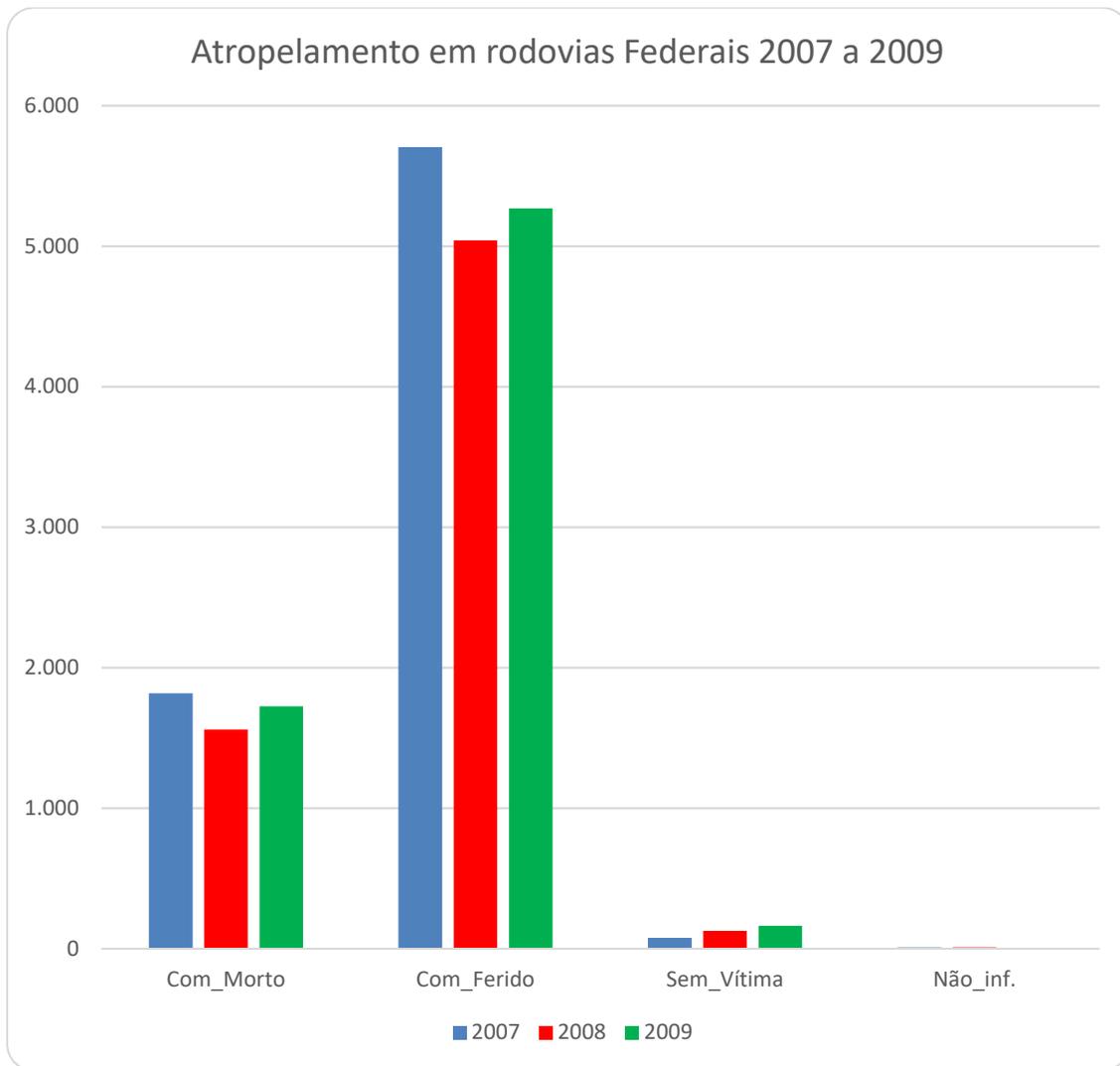
Julga-se oportuno que os dados sejam trabalhados de forma a incorporar a localização geográfica, o que permitirá o tratamento destes dados, com o uso da ferramenta GIS, para localizar os pontos de maior incidência deste tipo de acidente e comparar com parâmetros relacionados à densidade populacional, nível de renda, classificação do trecho da via (rural ou urbano), volume de tráfego e número de faixas, como forma de se avaliar se haveria uma relação desses fatores com o maior hábito (ou necessidade) de deslocamentos a pé, criando uma maior exposição de pedestres ao tráfego de veículos.

RIFAAT *et al.* (2011) comentam que complementarmente aos estudos que examinaram os fatores que contribuem para acidentes fatais de trânsito, envolvendo pedestres e ciclistas acidentes, muitos estudos têm sido realizados para identificar as falhas associadas aos comportamentos tanto de pedestres como de ciclistas.

Ainda RIFAAT *et al.* (2011) *apud* Ivan (2001), SULLIVAN e FLANNAGAN (2002) e NOLAND e QUDDUS (2004) em estudos sobre a gravidade dos acidentes envolvendo pedestres, constataram que: o tipo de veículo; o consumo de álcool pelo motorista; o consumo de álcool pelos pedestres, e a faixa etária do pedestre ser superior a 65 anos, formam os fatores observados de maior correlação à gravidade da lesão de pedestres. Constataram ainda que as mortes envolvendo pedestres eram pelo menos quatro vezes maiores à noite do que durante o dia e sete vezes maior em interseções mal iluminadas em comparação aos cruzamentos iluminados. Os ferimentos mais graves envolvendo pedestres foram associados a áreas de população de baixa renda, maior cobertura de estradas locais, maior gasto per capita em bebidas alcoólicas e maiores densidades populacionais.

KATTAN (2011) *apud* ANDERSON *et al.* (1997) sugerem que um acidente fatal envolvendo um pedestre é seis vezes mais provável de acontecer se a velocidade de impacto do veículo é de 45 km/h (60% de chance de fatalidade), confrontando com as chances à velocidade de 37 km/h (10% de chance de fatalidade).

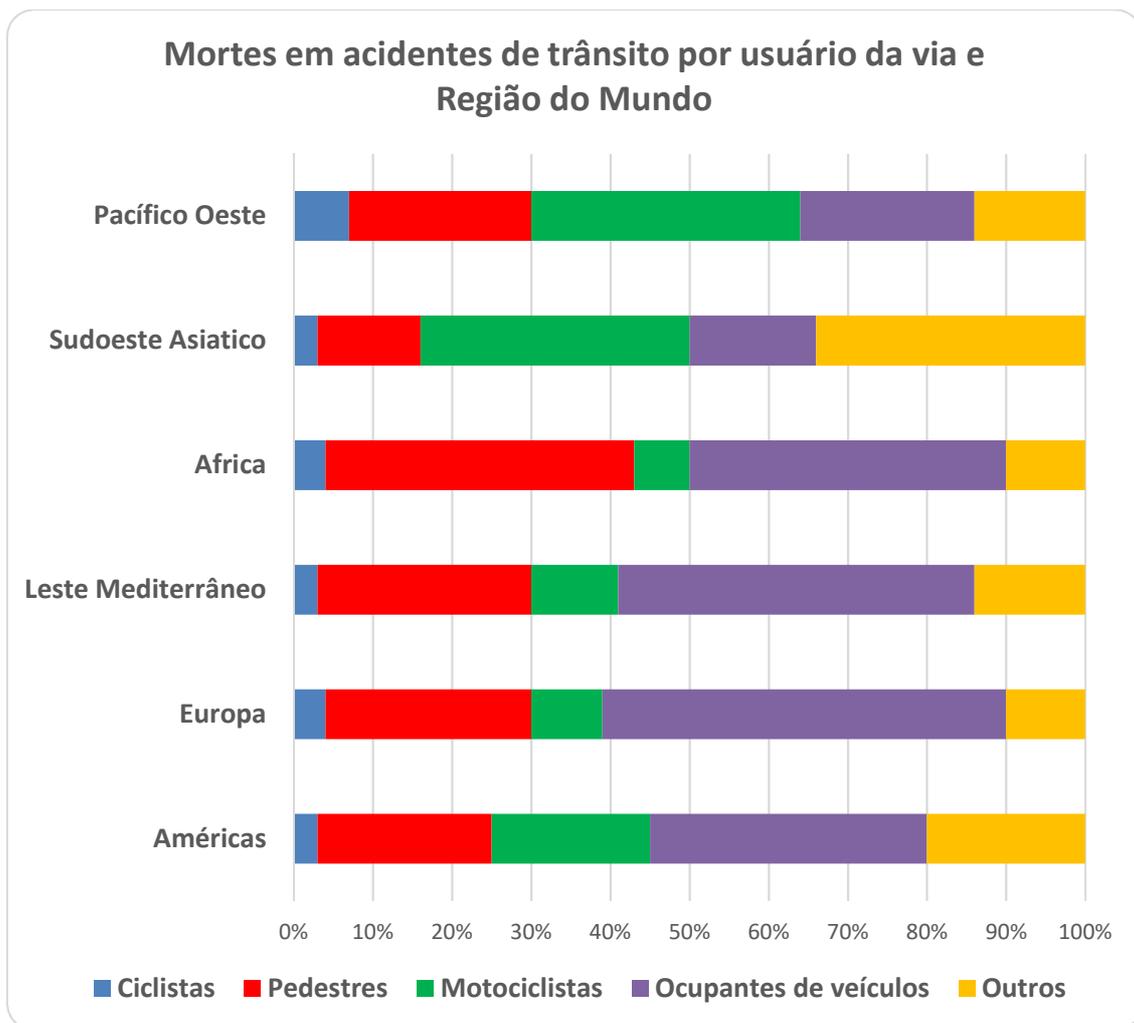
A PRF (2010) apresenta os dados, relativos aos atropelamentos ocorridos nas rodovias federais brasileiras no período de 2007 a 2009, consolidando pedestres e ciclistas, conforme a Figura 2.7.



**Figura 2-7 – Atropelamentos envolvendo pedestres e ciclistas na malha rodoviária federal policiada, no período de 2007 a 2009.**

**Fonte: PRF (2010).**

Segundo a WHO (2015) o perfil dos acidentes com mortes envolvendo Pedestres e Ciclistas, por regiões durante o ano de 2013 é representado na figura 2.8.



**Figura 2-8 – Mortes por acidentes de trânsito por usuário da via e Região do Mundo**

Fonte WHO (2015), adaptado pelo autor

Segundo HEARST *et al.* (2011), a influência do nível sócio demográfico de uma região no hábito de caminhar foi reduzida drasticamente quanto maior era o nível socioeconômico do indivíduo analisado. Uma quantidade significativa de indivíduos de baixa renda depende diariamente de poucos minutos de caminhada para ter acesso ao transporte, em comparação com aqueles que vivem em áreas com níveis mais elevados de renda. Esses resultados certamente sugerem a necessidade de infraestrutura onipresente para pedestres e opções de transporte público para as áreas que são economicamente desfavorecidas em lugar daquelas que não o são.

Tal análise torna-se relevante se considerarmos que a população que reside ou trafega nas áreas limítrofes às rodovias são necessariamente as de menor poder aquisitivo e menor grau de instrução.

Segundo SCHEPERS *et al.* (2013), pessoas deslocam-se entre localidades para realizar atividades como morar, trabalhar e fazer compras. Movimentar-se dispende tempo e dinheiro além de custos não mensuráveis como o desconforto, o que acaba resultando numa resistência a sair. Esta resistência é influenciada por fatores como necessidades, oportunidades e habilidades. A combinação dos três fatores resultará na escolha pela caminhada, bicicleta ou motocicleta, o que torna peculiar a necessidade de entendimento dos fatores associados ao perfil de cada parte envolvida em um acidente de forma individualizada.

### **2.2.2 Fatores relacionados aos acidentes envolvendo Ciclistas**

A bicicleta é um modo de transporte único que oferece uma ampla gama de benefícios individuais e de saúde pública, como aumento da atividade física, diminuição do nível de estresse e redução da poluição ambiental, consumo de combustível e congestionamento. Devido a muitos benefícios potenciais, foi dada uma atenção significativa ao desenvolvimento do ciclismo como um modo de transporte viável nos últimos anos. (BEHNOOD e MANNERING, 2017).

A figura 2.7 consolidou as ocorrências envolvendo ciclistas em rodovias federais brasileiras, no período entre 2007 e 2009.

SCHEPERS *et al.* (2013) analisaram os riscos associados aos acidentes envolvendo ciclistas, designando três fatores como essenciais para seu entendimento:

- Fatores humanos – o processo de formação de uma imagem no cérebro humano ocorre, basicamente a partir do processamento de duas informações básicas – onde estou (ambiente visual) e o que é isto (visão focal). Assim, motoristas utilizam-se de seu ambiente visual para guiar-se e corrigir pequenos erros de condução em seu caminho. Já o uso da visão focal ocorre para antecipar perigos e futuras alterações de percurso, o motorista de um automóvel se confunde, por exemplo, quando ao dobrar uma rua à direita usa de forma usual a imagem refletida no retrovisor, mas que não era objeto de acompanhamento haja vista estar preocupado com o tráfego da via que vem à sua esquerda. Assim, são comuns, por exemplo: acidentes envolvendo ciclistas que estão no chamado “ponto cego” de visão nesta situação.
- Fatores Físicos – podem, de forma bastante simplificada, ser definidos como a interação entre os veículos e a infraestrutura viária. Neste particular é normal um movimento oscilatório (zig-zag) ou por vezes pendular do ciclista. Neste mister

estudos apontaram a necessidade de se permitir ao ciclista um “corredor livre” de no mínimo 1 metro para cada lado, de forma a permitir seu deslocamento com segurança. Nas vias urbanas raramente os motoristas reservam este espaço de segurança para o deslocamento de ciclistas o que não raro resulta em acidentes. Outro fator relevante é o relacionado à falta de estabilidade de uma bicicleta, que depende de um conjunto de fatores como: geometria, distribuição das massas e efeito giroscópico para permitir seu deslocamento. Assim, sua estabilidade que já seria frágil, pois depende do equilíbrio desses fatores, torna-se ainda mais crítica considerando-se os problemas relacionados à qualidade e tipo de pavimento.

- Exposição ao Risco – na física a energia cinética é calculada a partir da expressão:  $E = \frac{1}{2}mv^2$  onde m representa a massa do corpo e v a velocidade. Assim, percebe-se que quanto mais rápido o ciclista se desloca maior é a quantidade de energia que ele possui, e parte desta energia é transferida às vítimas no momento da colisão, o que pode tornar fatal um acidente onde um ciclista que viaja sem proteção para a cabeça e se desloca a 10 km/h, num impacto contra um obstáculo.

Segundo HABIBOVIC E DAVIDSSON (2012), em seu trabalho de estudo dos fatores causadores de acidentes envolvendo pedestres e ciclistas, os eventos críticos com maior número de ocorrências, foram aqueles relacionados a tempos inadequados de reação, distância e duração. Transcrevem-se, a seguir, os mais relevantes:

**Tabela 2.2 – Fatores causadores de acidentes envolvendo Pedestres e Ciclistas**

<b>Tempo</b>	<i>Ação prematura (30%)</i>	<i>Foram relacionadas aos pedestres e ciclistas que haviam iniciado uma ação antes do momento adequado (por exemplo, iniciou uma manobra de cruzamento antes da via estar livre de veículos ou antes do sinal de trânsito estar na posição siga).</i>
	<i>Nenhuma ação (21,4%)</i>	<i>Foram relacionadas a pedestres e ciclistas (vulneráveis - VRUs <i>Vulnerable Road Users</i>) onde não foi possível realizar uma ação para evitar o acidente, (por exemplo, não parou apesar do sinal de trânsito ter mudado para a situação de pare)</i>
	<i>Ação tardia (5%)</i>	<i>Foram relacionadas aos pedestres e ciclistas que iniciaram uma ação quando o tempo disponível era mais curto que o necessário para completar a ação com segurança (por exemplo, ciclistas que tentaram frear, mas não conseguiram parar antes de colidir com o veículo)</i>
<b><i>Distância (14,3%)</i></b>		<i>Foram relacionados os pedestres e ciclistas que não conseguiram parar antes de entrar na via, ou que já teriam atravessado a primeira pista da via, e continuou na segunda pista (onde o acidente ocorreu) sem parar na ilha de tráfego.</i>
<b><i>Duração (10,7 %)</i></b>		<i>Neste tópico foram relacionados os pedestres e ciclistas que ficaram na via num tempo superior aquele que os veículos poderiam esperar, dada a situação do trânsito.</i>
<b><i>Outros fatores não informados (18,6%)</i></b>		

Fonte: HABIBOVIC E DAVIDSSON (2012), adaptado pelo autor.

BEHNOOD e MANNERING (2017) analisaram os fatores estatisticamente significativos relacionados aos movimentos de ciclistas anteriores a um acidente e concluíram que eram relevantes a participação de movimento direto e mudanças nas pistas. Além disso, a condução na contra-mão da estrada também foi encontrado como fator significativo, resultando num aumento da probabilidade de lesões graves.

RIFAAT *et al.* (2011) *apud* KIM *et al.* (2007) observaram características peculiares em acidentes pesquisados envolvendo pedestres e ciclistas, tais como: a maior parte dos veículos envolvidos acelera antes do impacto; o número de veículos de carga envolvidos em acidentes com pedestres e ciclistas é maior que os demais veículos, todos os veículos envolvidos neste tipo de acidentes tem registro de atuação por excesso de velocidade, foi relevante a quantidade de motoristas ou ciclistas embriagados, foi relevante o envolvimento de ciclista com idade igual ou superior a 55 anos, os acidentes foram em

maior quantidade em situação climáticas difíceis (temporal, nevasca, por exemplo), maior quantidade de acidentes em situações de escuridão ou sem iluminação pública e finalmente que a gravidade dos acidentes estava diretamente relacionada ao ponto de impacto no veículo (as colisões frontais tiveram um efeito significativamente maior em acidentes envolvendo ciclistas).

Segundo BEHNOOD e MANNERING (2017) a idade do ciclista também foi encontrada como variável estatisticamente significativa na análise de gravidade de lesões. Um indicador de faixa etária dos ciclistas vitimados em acidentes e foi observado que aqueles com mais de 50 anos, tiveram aumentadas as probabilidades de lesões graves e diminuídas as probabilidades de lesões menores e não visíveis. Em relação aos ciclistas com 17 anos e menos e aqueles com idade entre 25 e 50 anos, aumentou a probabilidade de lesões menores e diminui a probabilidade de lesões visíveis e não visíveis. A maior probabilidade de lesões mais graves para os ciclistas mais antigos pode ser devido à sua fragilidade e às várias condições físicas, bem como ao aumento dos tempos de reação e percepção.

Ainda RIFAAT *et al.* (2011) *apud* LAPPARENT (2005) e MAC PHERSON *et al.* (2004) concluíram que o uso de capacete e a idade tem uma relação direta sobre a gravidade dos acidentes envolvendo ciclistas (idosos raramente se dispõem a usar capacetes e são as vítimas de acidentes de maior gravidade). Além disso, constataram que crianças que vivem fora de centros urbanos, tiveram lesões mais sérias, com risco aumentado de hospitalização devido a lesões relacionadas com o ciclismo. O artigo 105 do Código de Trânsito Brasileiro (CTB) não considera o capacete como um dos itens obrigatórios para trafegar com bicicletas em vias públicas (são somente obrigatórios a campainha, sinalização noturna, dianteira, traseira, lateral e nos pedais e espelho retrovisor do lado esquerdo).

A regulamentação sobre a circulação de bicicletas é definida pelo CTB em diversos artigos, a tabela 2.3 a seguir busca referenciar alguns considerados como os mais relevantes.

**Tabela 2.3 – Artigos relacionados ao trânsito de bicicletas em vias públicas**

<b>Artigo</b>	<b>Tópico relevante</b>	<b>Observações</b>
<i>Art. 21. Compete aos órgãos e entidades executivas rodoviárias da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, no âmbito de sua circunscrição:</i>	II – Planejar, projetar, regulamentar e operar o trânsito de veículos de pedestres e de animais, e promover o desenvolvimento da circulação e segurança de ciclistas.	ÓRGÃOS EXECUTIVOS – são aqueles que, efetivamente, colocarão em prática o que se encontra previsto na lei, a fim de lhe dar cumprimento. Se atuarem nas rodovias, são denominados órgãos (e entidades) executivos RODOVIÁRIOS e, se tiverem como área de atuação as vias urbanas, recebem são denominados órgãos (e entidades) executivos DE TRÂNSITO.
<i>Art. 29. O trânsito de veículos nas vias terrestres abertas à circulação obedecerá às seguintes normas:</i>	§ 2º Respeitadas as normas de circulação e conduta estabelecidas neste artigo, em ordem decrescente, os veículos de maior porte serão sempre responsáveis pela segurança dos menores, os motorizados pelos não motorizados e, juntos, pela incolumidade dos pedestres.	
<i>Art. 38. Antes de entrar à direita ou à esquerda, em outra via ou em lotes lindeiros, o condutor deverá:</i>	§ único. Durante a manobra de mudança de direção, o condutor deverá ceder passagem aos pedestres e ciclistas, aos veículos que transitem em sentido contrário pela pista da via da qual vai sair, respeitadas as normas de preferência de passagem.	
<i>Art. 192. Deixar de guardar distância de segurança lateral e frontal entre o seu veículo e os demais, bem como em relação ao bordo da pista, considerando-se, no momento, a velocidade, as condições climáticas do local da circulação e do veículo:</i>	Infração – grave; Penalidade – multa.	
<i>Art. 58. Nas vias urbanas e nas rurais de pista dupla, a circulação de bicicletas deverá ocorrer, quando não houver ciclovia, ciclo faixa, ou acostamento, ou quando não for possível a utilização destes, nos bordos da pista de rolamento, no mesmo sentido de circulação regulamentado para a via, com preferência sobre os veículos automotores.</i>		BORDO DA PISTA – margem da pista, podendo ser demarcada por linhas longitudinais de bordo que delineiam a parte da via destinada à circulação de veículos.
<i>Art. 59. Desde que autorizado e devidamente sinalizado pelo órgão ou entidade com circunscrição sobre a via, será permitida a circulação de bicicletas nos passeios.</i>		PASSEIO – parte da calçada ou pista de rolamento, separada por pintura ou elemento físico separador, livre de interferências, destinada à circulação exclusiva de pedestres e, excepcionalmente, de ciclistas.
<i>Art. 244, estabelece proibições a circulação de bicicletas nas seguintes situações:</i>	§ 1º (...): a) conduzir passageiro fora da garupa ou do assento especial a ele destinado; b) transitar em vias de trânsito rápido ou rodovias, salvo onde houver acostamento ou faixas de rolamento próprias; c) transportar crianças que não tenham, nas circunstâncias, condições de cuidar de sua própria segurança.	

Fonte: Código de Trânsito Brasileiro - Brasil (1997)

É interessante observar o cuidado com a segurança do ciclista definido na legislação, porém o que se observa na prática, nas vias brasileiras, é o desconhecimento ou até mesmo o descaso, por parte dos ciclistas e condutores de veículos automotores, no cumprimento das regras definidas. O que de certa forma torna ineficaz essa regulamentação e certamente resulta em um grande número de acidentes.

No que diz respeito aos resultados da estimativa da gravidade da lesão do ciclista, verificou-se que uma grande variedade de variáveis aumentou a probabilidade de ferimentos graves em acidentes com veículos motorizados, incluindo motociclistas e / ou motoristas, ciclistas ou motoristas com problemas de álcool, ciclistas mais velhos, conduzir na contramão, o excesso de velocidade do ciclista, a falta de uso de capacete, e assim por diante. Os achados desta pesquisa ressaltam a importância de contabilizar integralmente a heterogeneidade não observada considerando uma possível heterogeneidade nos meios e variâncias dos parâmetros. (BEHNOOD e MANNERING, 2017).

### **2.2.3 Fatores relacionados aos acidentes envolvendo motociclistas**

Acidentes de trânsito são resultado do aumento de veículos, baixa qualidade das vias, perigos do fluxo misto (veículos de diferentes tamanhos) e má formação de condutores. Muitos acidentes graves são causados pelo fluxo misto, com motoristas que trafegam no acostamento e na contramão. O comportamento do condutor é a principal causa de acidentes, seus erros mais comuns são: excesso de velocidade, ultrapassagem perigosa, dirigir embriagado e uso indevido de faixas (HUNG e HUYEN, 2011).

A maior causa de acidentes de trânsito é a desobediência das regras de operação e segurança do trânsito. Acidentes relacionados às falhas técnicas são inferiores a 1%; à infraestrutura cerca de 1,8%; e ao comportamento inseguro cerca de 97% (sendo que destes 73% atribuídos aos motociclistas) (HUNG e HUYEN, 2011). Na cidade do Rio de Janeiro, veículos de duas rodas são recordistas de acidentes graves, de contravenções e infrações (PM-RIO, 2014). Como citado anteriormente, elevados índices sugerem necessidades prementes de intervenções de segurança viária, com incorporação de legislação mais severa em relação à: velocidade, álcool, uso e padronização de equipamentos de segurança, sistemas para proteção a crianças e segurança ativa (WHO, 2013). Segurança ativa se refere aos equipamentos que minimizam os danos no caso de uma colisão. Nesta categoria estão os airbags e cintos de segurança, que absorvem impactos, carroceria com deformação programada e barras de proteção lateral nas portas.

O compromisso dos indivíduos (especialmente jovens) para mudar seu comportamento está relacionado a sua percepção ao risco de acidentes. Em algumas situações o condutor que consegue perceber imediatamente uma ameaça visível, mas não identifica riscos naquilo que não consegue enxergar (GOLOB e RECKER, 2002). O comportamento do jovem está relacionado a fatores como: aumento da sensação de poder, estima, independência e reconhecimento pelos pares, que resultam em dirigir acima dos limites de velocidade. É um grande desafio fazer os jovens mudarem suas atitudes e passarem a conduzir dentro dos limites de velocidade estabelecidos para a via (PAKER e MANSTEAD, 1996). A conduta dos jovens ao pilotar tende ao excesso de velocidade, infrações decorrentes de reações impulsivas, comportamentos de risco e alto risco de acidente, alteração na percepção e atitude em relação ao cumprimento do limite de velocidade (GLENDON e WALKER, 2013). Estudantes universitários consideram o fumo mais perigoso, pelo risco de câncer no pulmão, que o uso de drogas, álcool ou velocidade (ROMER, 2001 e SLOVIC, 2000). Riscos associados à velocidade são entendidos também como invisíveis: poucos motoristas têm a exata noção do grau de exposição associado às velocidades mais altas (JAMIESON e ROMER, 2001). Jovens do sexo masculino sofrem mais acidentes em estradas por desenvolverem maior velocidade (GLENDON e WALKER, 2013)

Dirigir um automóvel ou pilotar uma motocicleta geralmente traz alterações significativas no estilo de vida de um adolescente. Representa, a conquista da liberdade de movimento, independência dos familiares e oportunidades de se encontrar com os amigos. Relaciona ainda, o estreito vínculo entre a influência do comportamento do pai sobre o jovem, em relação não somente à forma de dirigir percebida, mas, ao risco que assume. Na Itália, rapazes em particular, são mais sensíveis ao modelo de condução paterna que ao materno (GRAZIANO *et al.*, 2009).

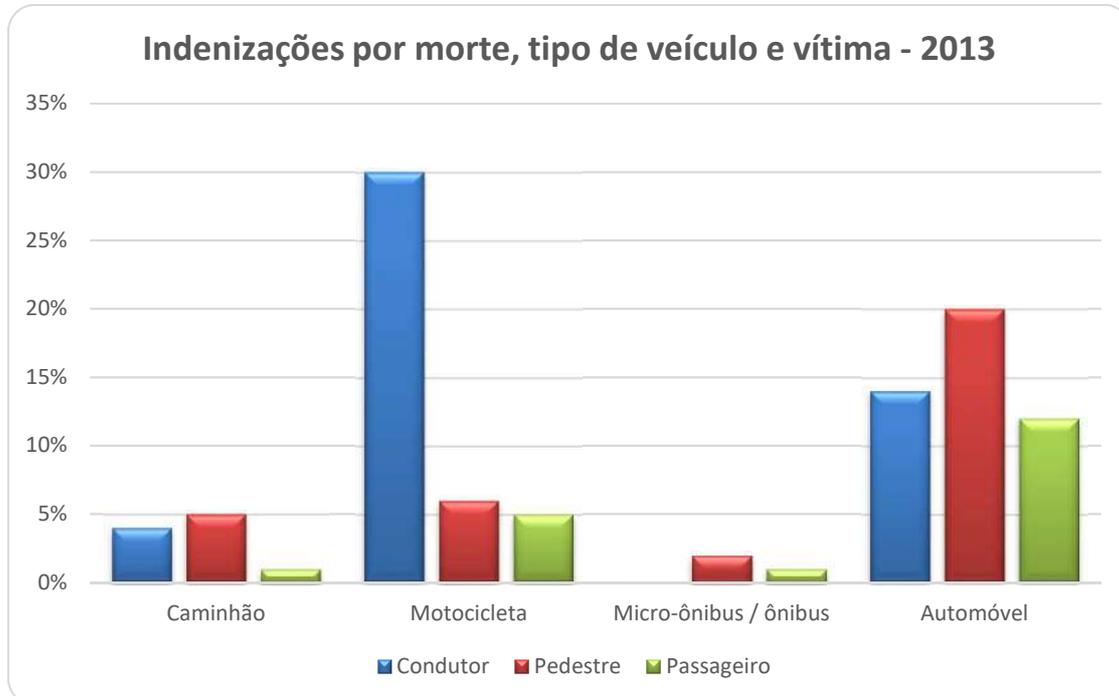
KIELING *et al.* (2011), em pesquisa sobre perfil psiquiátrico de motoboys, identificaram maior incidência de distúrbios mentais neste grupo, que na população adulta da cidade de Porto Alegre. Diagnósticos de Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade e Transtorno de Personalidade Antissocial foram associados a procedimentos negativos de trânsito, incluindo multas e acidentes. A situação é agravada pelo aumento do uso de motocicleta para serviços de entrega e de táxi, pelo conceito de rapidez, pressa ou urgência aumentando a exposição ao risco.

Riscos de acidentes são o resultado da interação entre três elementos, algumas vezes tratados como “os três pilares da segurança de tráfego”: 1 – os usuários da via; 2 – os

veículos; e 3 – a infraestrutura, de forma similar aos epidemiologistas que utilizam os termos hospedeiro, agente e ambiente (SCHEPERS *et al.*, 2014). A diferença do movimento do automóvel e a motocicleta, é que o primeiro se mantém sobre a faixa de rolamento mudando eventualmente. Já o motociclista muda frequentemente, especialmente em congestionamentos. Se a via não possui faixa exclusiva, o motociclista entende que não precisa seguir a disciplina do fluxo, seguindo pelo meio das faixas entre os veículos (NGUYEN *et al.*, 2014).

O atrativo, para famílias de baixa renda, é seu uso como fator gerador de renda (encomendas rápidas e moto táxi) que vem sendo difundido e estimulado pois não requer formação técnica, profissional ou escolaridade mínima (DENATRAN, 2012).

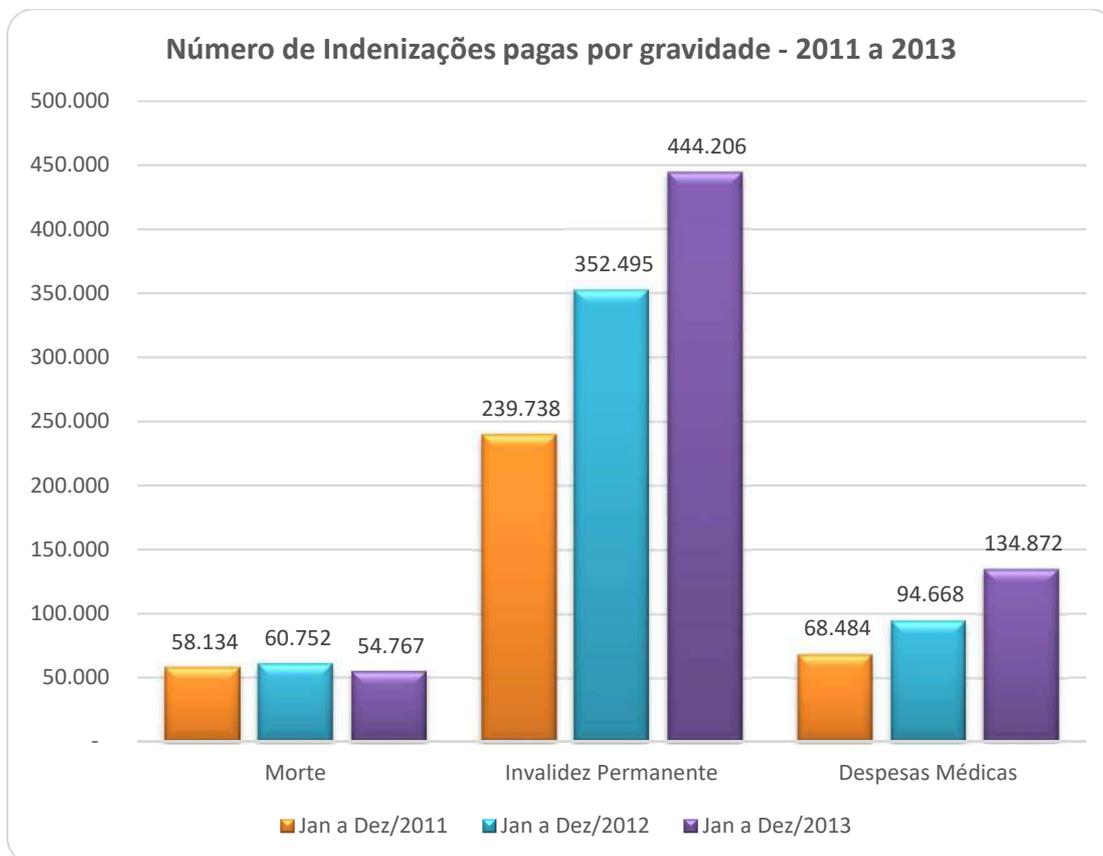
Os valores das indenizações pagas sobre mortes (FENASEG, 2014) são maiores que os dados oficiais e alguns fatores podem justificar esta discrepância: os pedidos de indenização podem ser feitos até 5 anos após o óbito, algumas mortes podem ter ocorrido após os 30 dias estabelecidos pelo Ministério da Saúde para vinculação a sua estatística. A Figura 2.9 apresenta o perfil das vítimas em relação às indenizações pagas por morte no trânsito (FENASEG, 2014).



**Figura 2-9 – Indenizações por morte, tipo de veículo e vítima - Jan a Dez 2013**

**Fonte: FENASEG (2014).**

Apesar do cuidado necessário para o emprego desses números, para uma análise quantitativa, estes se tornam relevantes, por espelharem mortes, invalidez permanente e hospitalizações em níveis elevados, em especial nos dois últimos anos que apresentam um aumento de ocorrências (ou de pedidos de indenização), conforme Figura 2.10.



**Figura 2-10 – Número de indenizações pagas pelo DPVAT de 2011 a 2013**

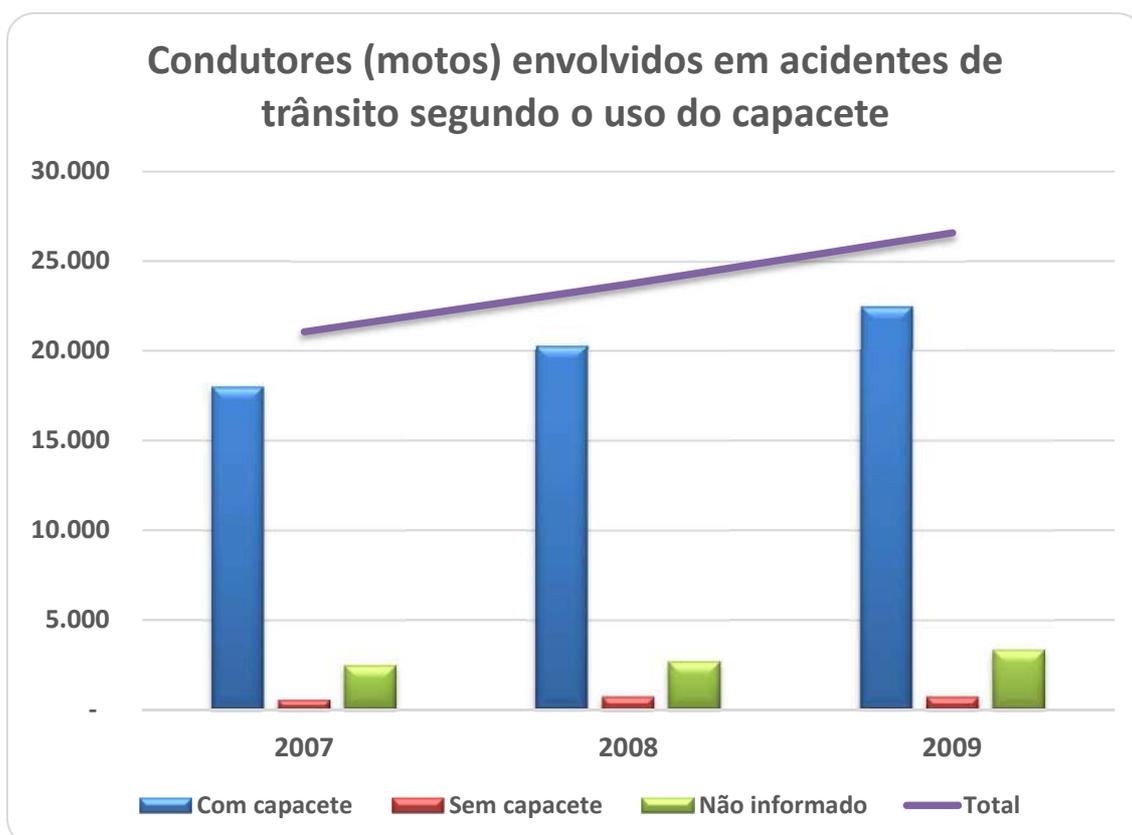
**Fonte: FENASEG (2014).**

O Artigo 56 do Código do Trânsito Brasileiro (BRASIL, 1997) estabelecia: *“É proibido ao condutor de motocicletas, motonetas e ciclomotores a passagem entre veículos de filas adjacentes ou entre a calçada e veículos de fila adjacente a ela.”*. Este artigo foi vetado com a seguinte justificativa: *“Ao proibir o condutor de motocicletas e motonetas a passagem entre veículos de filas adjacentes restringe a utilização desse tipo de veículo que, em todo o mundo, é largamente utilizado para garantir maior agilidade de deslocamento.”*

Os motociclistas tornaram o corredor disponível para si às custas da segurança de todos os demais usuários. O corredor é o roubo da segurança coletiva para usufruto exclusivo dos motociclistas (DENATRAN, 2012). A criação de faixas exclusivas para motociclistas nos corredores Avenida Sumaré / Paulo VI e Avenida Vergueiro / Liberdade (na cidade

de São Paulo) contribuiu para a queda dos óbitos. Da mesma forma, a proibição de circulação de motos em uma das três pistas da Marginal Tietê (também na cidade de São Paulo) reduziu os acidentes em 35% em um ano. A redução da velocidade máxima de 70 para 60 km/h representou uma queda de 22% nos acidentes com motociclistas no eixo norte/sul da via (DENATRAN, 2012).

A figura 2.11, apresenta os acidentes envolvendo motociclistas no período de 2007 a 2009, classifica-os em função do uso do capacete na hora do acidente.



**Figura 2-11 – Motoclistas envolvidos em acidentes de trânsito segundo o uso do capacete na malha rodoviária federal policiada, no período de 2007 a 2009.**

**Fonte: PRF (2010).**

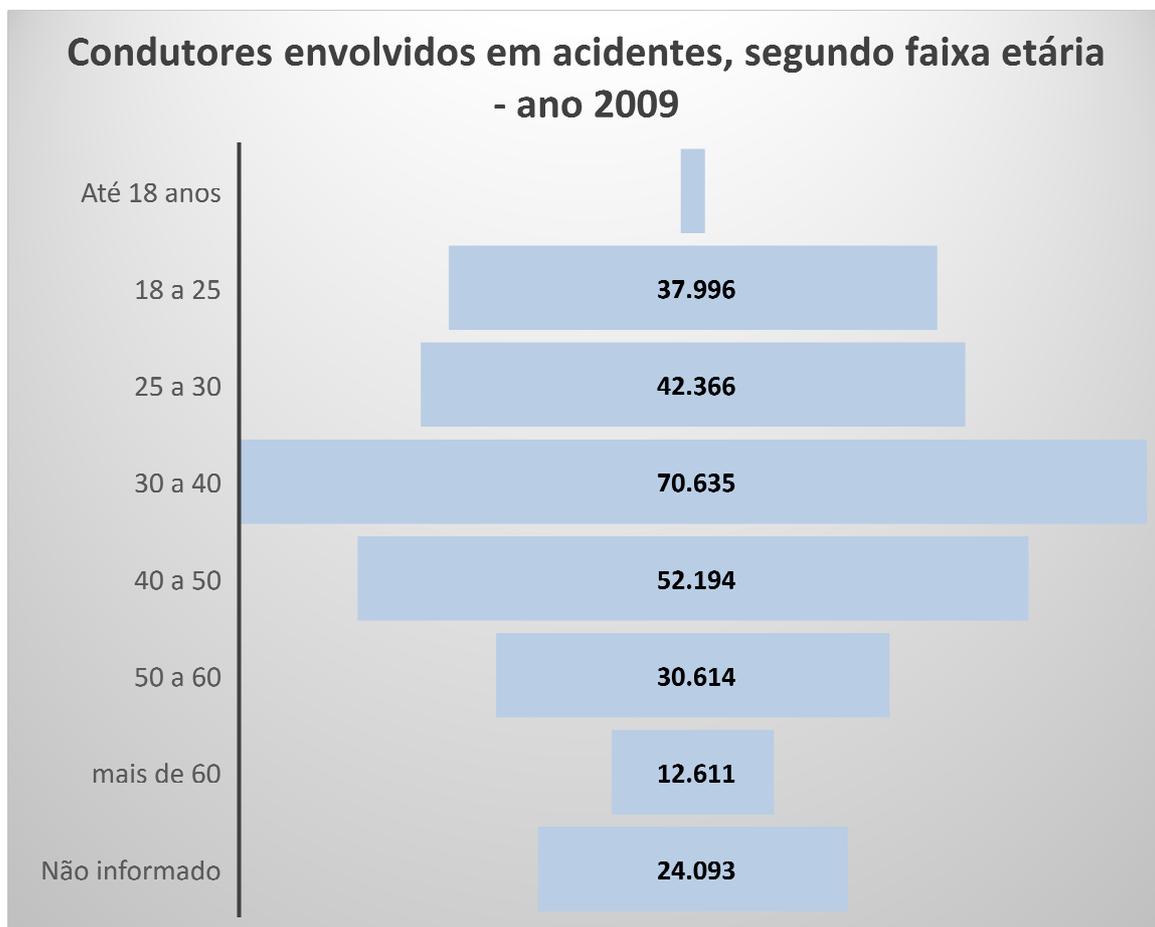
Os dados apresentados na figura 2.11 permitem estabelecer uma amostragem da proporcionalidade dos condutores que usam e os que não usam capacetes no Brasil, o que demonstra a eficácia dos programas de conscientização e das medidas de fiscalização no cumprimento dessa norma de segurança.

O rápido aumento em muitos países da utilização de veículos a motor de duas rodas tem sido acompanhado por um aumento lesões e mortalidade entre usuários de motocicletas. O uso de capacete, pode reduzir o risco de morte em quase 40% e de sofrer lesões sérias

em cerca de 70%. Por isso, a lei sobre a obrigatoriedade no uso de capacete deve ser aplicada a todos os motociclistas (incluindo crianças). Apenas 44 países (que representam 1,2 bilhões de pessoas) tem leis que sobre uso e certificação de qualidade dos capacetes, eles são principalmente os de maior poder econômico (Europa). Situação especialmente preocupante ocorre na região do Sudoeste da Ásia e do Pacífico Ocidental onde o índice de mortes é extremamente elevado. Na região das Américas o índice de acidentes fatais vem aumentando uma proporção muito grande em 2010 representavam cerca de 15% e em 2013 já representavam 20% (WHO, 2015).

#### 2.2.4 Fatores relacionados à idade dos condutores

A Figura 2.12 apresenta o perfil etário dos condutores envolvidos em acidentes de trânsito, no período de 2007 a 2009, segundo a PRF (2010)



**Figura 2-12 - Condutores envolvidos em acidentes de trânsito em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, segundo a faixa etária.**

**Fonte: PRF (2010)**

A partir de uma análise simples dos dados apresentados, observa-se que são infundadas as tentativas de relacionamento da quantidade de acidentes ocorridos em rodovias federais brasileiras e a pouca idade (ou pouca experiência) dos condutores, não é coerente a sugestão de que os condutores mais jovens seriam os maiores responsáveis pelos acidentes analisados, o que de certa forma contraria estudos citados anteriormente, como por exemplo GRAZIANO *et al.* (2009). Na busca pelo perfil dos condutores envolvidos nos acidentes por faixa etária, percebe-se que na verdade os maiores envolvidos estão em uma faixa etária entre 30 e 50 anos.

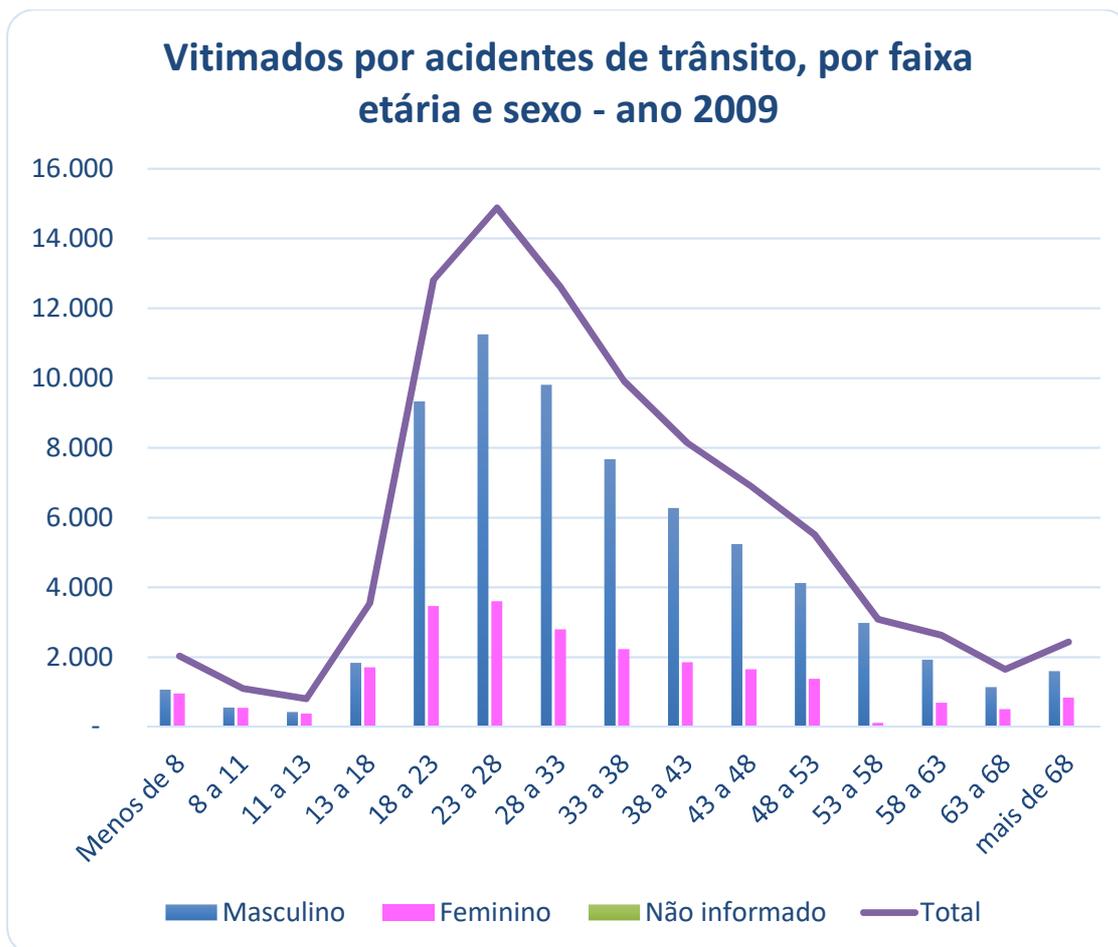
#### 2.2.4.1 Fatores relacionados aos acidentes envolvendo Jovens

Segundo a WHO (2007) acidentes de trânsito são uma das principais causas de mortes e feridos entre os jovens na América do Norte e em todo o mundo. Quase 400.000 jovens com menos de 25 anos são mortos e milhões são feridos ou incapacitados no trânsito a cada ano.

Segundo KATTAN (2011) *apud* DEWAR (2002), entre as vidas jovens perdidas nas estradas, as crianças são preocupação especial para muitos profissionais de segurança e para o público, devido à sua maior vulnerabilidade. Eles são expostos a um maior risco em acidentes de trânsito por vários motivos:

- São menos visíveis para os motoristas do que os adultos, devido ao seu tamanho físico menor;
- Têm uma maior tendência a se comportar de forma inesperada em relação a adultos normais, especialmente quando eles estão preocupados com outras atividades; e
- Têm mais dificuldade para julgar a velocidade e a distância do veículo.

A figura 2.13 apresenta o total de vitimados por acidente de trânsito, segundo sua faixa etária e sexo. É relevante o total de Jovens entre 18 e 33 anos, vítimas fatais em acidentes de trânsito.



**Figura 2-13 – Vitimados por acidentes de trânsito em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, segundo o sexo e sua faixa etária.**

**Fonte: PRF (2010)**

Curiosamente, apesar de não pertencer à categoria dos jovens, os maiores vitimados em acidentes em rodovias federais brasileiras durante o ano de 2009, tem idade até 33 anos. Assim, justifica-se uma investigação detalhada sobre os fatores relacionados aos acidentes que tem jovens como vítimas, como por exemplo, tipo de acidente, hora, veículos, condutores, etc.

Segundo GLENDON e WALKER (2013), condutores jovens em particular consideram as infrações de trânsito, por exceder os limites de velocidade, uma das infrações rodoviárias menos graves. Possuem uma sensação ilusória de serem jovens pilotos, que detém o total controle sobre o veículo, o que acaba por contribuir para cometer violações de condução, particularmente o excesso de velocidade, bem como acabam minimizando o risco percebido de conduzir em alta velocidade. Foram confirmadas as ligações entre os jovens condutores entre:

- Excesso de velocidade e infrações resultantes de reações por impulso, sem medir as consequências de seus atos;
- Comportamentos de risco aumentando as chances de ocorrência de um acidente; e
- Percepção e atitude em relação ao cumprimento do limite de velocidade de risco.

Entre os jovens motoristas, os homens são mais propensos a sofrer acidentes em estradas do que as mulheres, o que é parcialmente explicado pelo fato destes provavelmente serem maioria na direção nas estradas e porque certamente desenvolvem uma maior velocidade ao conduzir veículos.

Como já foi citado, segundo PAKER *et al.* (1996) o comportamento de condução arriscado de um jovem, pode estar relacionado com fatores importantes para os jovens como: aumento das sensações de poder, estima, independência e reconhecimento pelos pares, que podem resultar em substituição das limitações para conduzir dentro dos limites de velocidade. Haja vista, o ponto de vista relativamente brando no tocante ao jovem conduzir dentro dos limites de velocidade estabelecidos para a via, será um grande desafio mudar suas atitudes.

#### 2.2.5 Fatores relacionados aos acidentes envolvendo idosos

Segundo os dados apresentados pela PRF (2010), e ilustrado nas figuras 2.14 e 2.15, o total de acidentes envolvendo idosos com mais de 60 anos de idade trazem índices de:

- 12.611 condutores idosos (4,6% do total de condutores envolvidos em acidentes); e
- Cerca de 5.400 idosos foram vítimas de acidentes (4,8% do total de vítimas).

A implementação de novas tecnologias nos veículos, tais como GPS e Computador de Bordo, trazem uma melhoria na gestão de informações relacionadas ao desempenho dos veículos, informações sobre as rotas, temperatura interna do veículo, funcionamento de sistemas e componentes, etc.

Em uma viagem, além dos passageiros, os sistemas de navegação podem dar informações verbais sobre a rota, o que reduz a necessidade do motorista ter que se lembrar do caminho ou desviar sua atenção visual para consultar um mapa. Atualmente, porém com a universalização de sistemas de navegação (GPS), as informações são apresentadas de forma contínua e atualizada, fornecer informações auditivas e visuais ao motorista sobre

a rua que procura, durante o trajeto. Reduzindo riscos de mudanças abruptas de itinerário e comportamentos arriscados à direção.

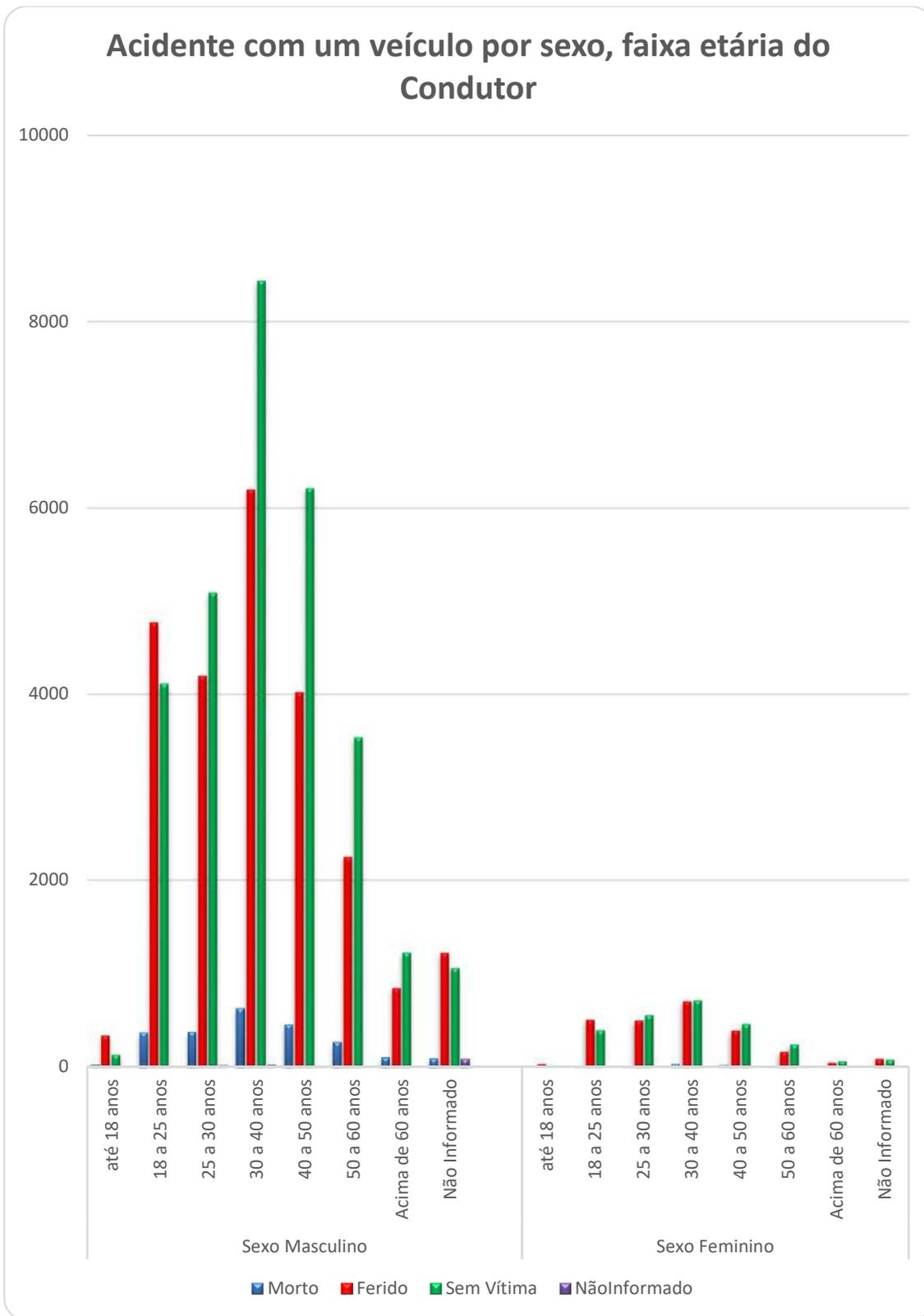
BRYDEN, *et al.* (2013) *apud* (KOPMAN-BOYDEN e REID, (2009); EUA Census Bureau, (2010); e Australian Bureau of Statistics, (2011)) observaram que o uso de sistemas de tecnologias (computadores pessoais, tablets, celulares, GPS, computadores de bordo, etc.), é menor em pessoas mais velhas em comparação com os mais jovens.

Apesar da ideia inicialmente formulada não se restringir aos idosos, percebe-se que este grupo é o que tem a maior dificuldade de incorporar o uso de novas tecnologias.

Fica evidente, portanto, a vantagem trazida, para um idoso, na incorporação do hábito de viajar acompanhado, pois reduz sobremaneira os riscos de desatenção provocados por uma possível desorientação da rota ou do caminho a seguir.

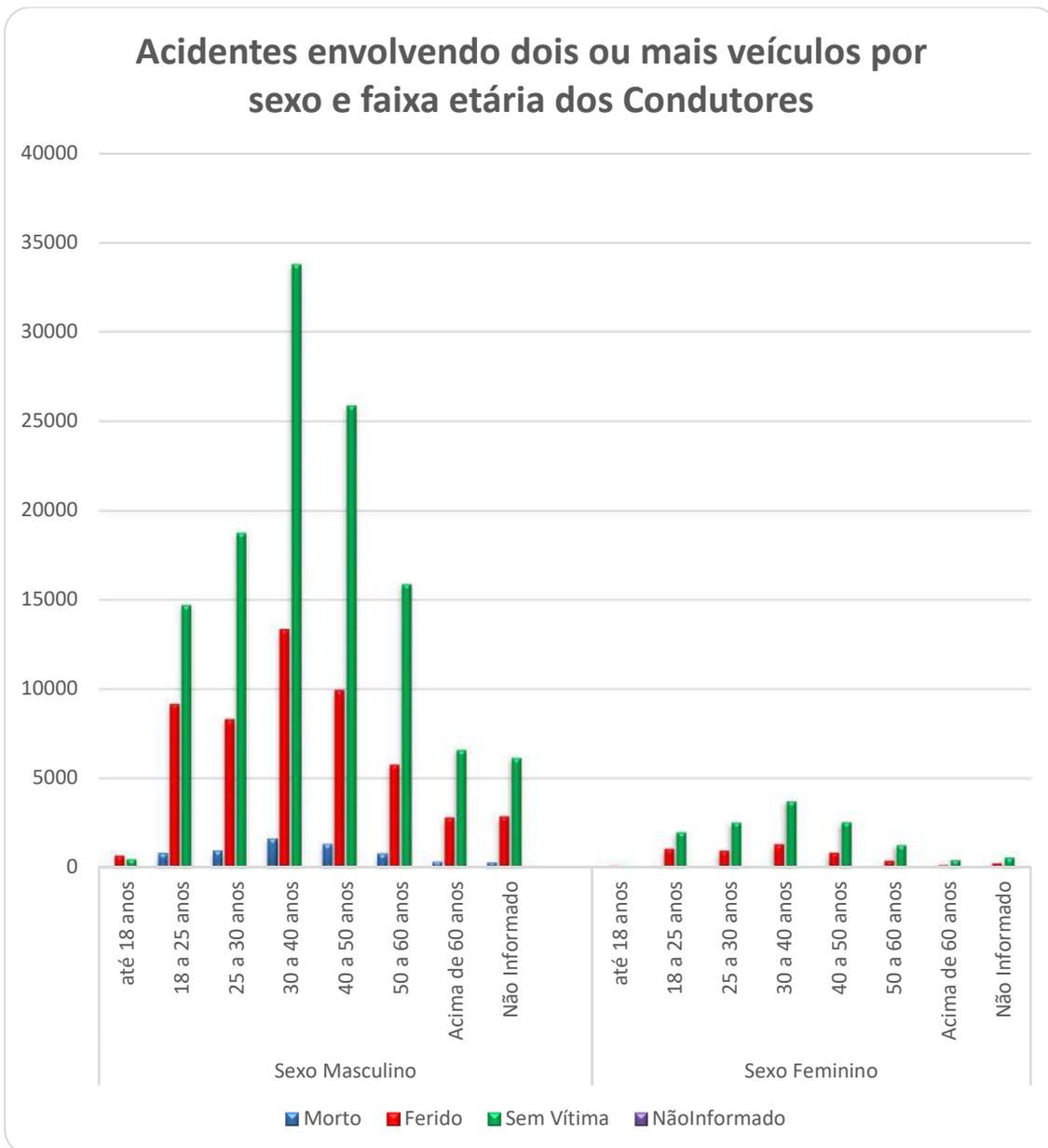
MORGAN e MANNERING (2011) observaram que diferenças na gravidade da lesão do motorista em função da variação de condição da superfície da estrada, dada a física envolvida. Diferenças significativas entre grupos de idade e gênero sugerem que os motoristas percebem e reagem às variações de condições da superfície do pavimento de maneiras muito distintas. As estimativas de parâmetros individuais nos vários modelos confirmam isso, uma vez que a magnitude e as vezes a direção da influência das variáveis específicas de colisão variam muito de um modelo de idade / gênero / condição de superfície.

As figuras 2.14 e 2.15, comparam a gravidade dos acidentes envolvendo um e dois ou mais veículos, respectivamente, por sexo e faixa etária dos condutores.



**Figura 2-14 – Acidentes, envolvendo um único veículo, por gravidade, sexo e faixa etária dos condutores.**

**Fonte: PRF (2010)**

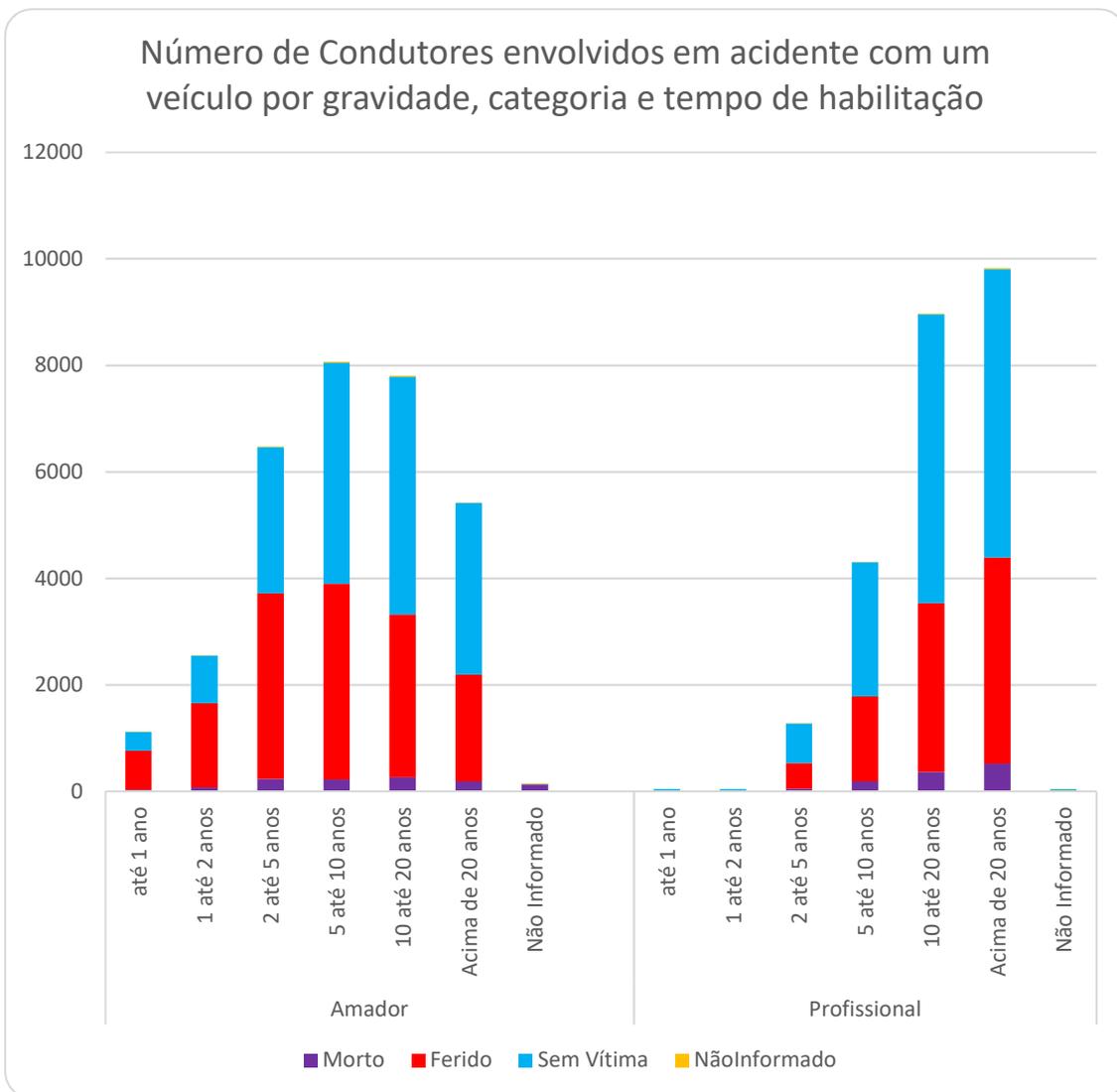


**Figura 2-15 – Acidentes, envolvendo dois ou mais veículos, por gravidade, sexo e faixa etária dos condutores.**

**Fonte: PRF (2010)**

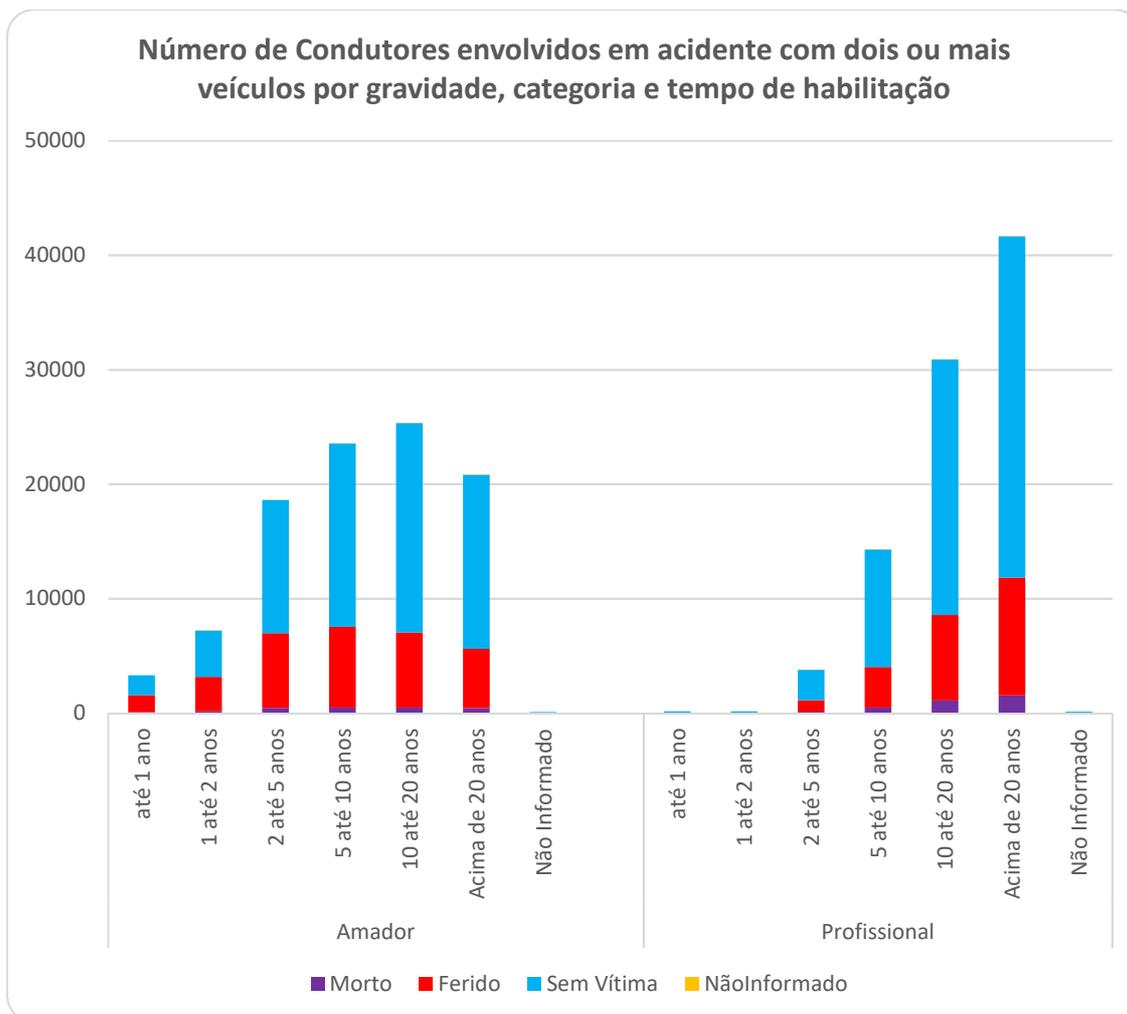
Pela análise das figuras anteriores nota-se a relevância da participação de motoristas do sexo masculino, especialmente com faixas etárias entre 25 e 50 anos nos acidentes de trânsito em rodovias brasileiras, com base nos dados de 2009 da PRF. Este dado mostra-se bastante peculiar, pois toda a bibliografia, pondera de forma relevante, normalmente os fatores associados à impulsividade dos mais jovens e às limitações físicas dos idosos. Os números apresentados obviamente não são conclusivos, haja vista, a inexistência de estatísticas que permitissem entender o universo dos condutores que dirigem diariamente

nas estradas, o que certamente deve convergir para distribuições por faixa etárias, no mínimo proporcionais aos índices apresentados anteriormente. Assim, julga-se oportuna a análise de um outro aspecto que se mostra relevante nas estatísticas sobre os índices de participação nos acidentes em função do tempo e categoria de habilitação dos condutores. As figuras 2.16 e 2.17 representam, respectivamente, os indicadores da gravidade dos acidentes ocorridos nas rodovias federais em 2009, associados a estas variáveis, para ocorrências envolvendo dois ou mais veículos.



**Figura 2-16 – Número de condutores envolvidos em acidentes com um veículo, ocorridos em rodovias federais, durante o ano de 2009, por gravidade categoria e tempo de habilitação.**

**Fonte: PRF (2010)**



**Figura 2-17 – Número de condutores envolvidos em acidentes com dois ou mais veículos, ocorridos em rodovias federais, durante o ano de 2009, por gravidade, categoria e tempo de habilitação**

**Fonte: PRF (2010)**

Pelos dados apresentados nas figuras anteriores, novamente o perfil preponderante dos envolvidos em acidentes é de motoristas profissionais, com habilitação há mais de 10 anos, o que, a exemplo da análise anterior requer cautela na interpretação dos dados, pois não se conhece o universo exata da participação deste perfil no universo de motoristas que transitam diariamente pelas rodovias, que certamente devem ser os mais representativos.

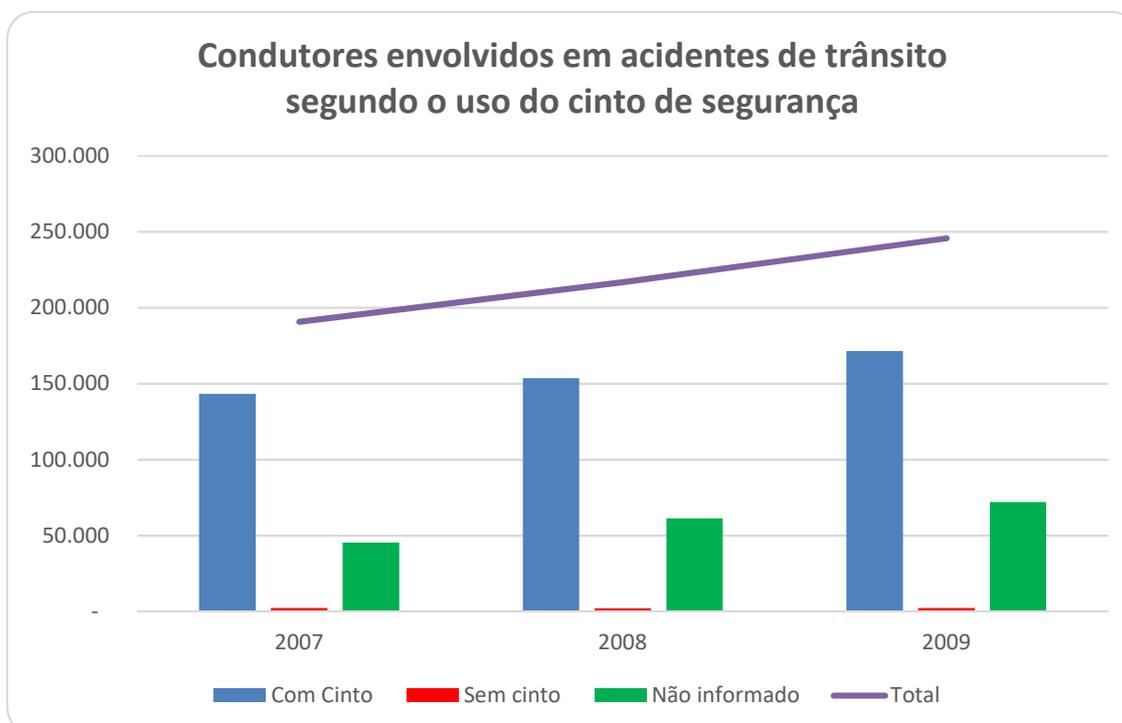
### 2.2.6 Fatores relacionados ao comportamento dos condutores

O uso de novas tecnologias vem sendo incorporado à vida das pessoas (Celulares, Tablets, GPS, e até mesmo Centrais de Multimídia) que além de contribuírem no monitoramento do veículo em deslocamento, proporcionam facilidades de lazer (informativos, mensagens instantâneas, filmes, jogos, sensores de aproximação de pedestres e de outros

veículos, por exemplo). O grande problema é que essas tecnologias se tornam as grandes responsáveis pelo desvio de segundos preciosos de atenção do condutor e, não raro, acabam resultando em acidentes de graves consequências.

Segundo BRYDEN *et al.* (2013), sistemas de navegação com o uso de GPS também têm potencial para causar distração visual, especialmente quando a informação só está disponível em uma tela sem indicações de áudio. Outro problema é quando o percurso aconselhado pode não ser ideal para o motorista (por exemplo, o GPS sugere uma rota desconhecida ou pouco iluminada, o que pode deixar o motorista inseguro), as indicações podem estar incorretas, desatualizadas, pouco claras ou inadequadas.

Na base de dados de 2009, não se percebe a preocupação de qualificação do número de ocorrências que tiveram como um dos fatores relacionados, o uso de celulares ao volante, certamente porque naquele ano este fator ainda não tinha a expressividade que tem nos dias correntes, porém se buscarmos por outros fatores comportamentais como, por exemplo, o número de condutores envolvidos em acidentes, no período de 2007 a 2009, que usavam o uso de cinto de segurança (veículos) e capacetes (motocicletas), obtém-se os dados apresentados na figura 2.18.



**Figura 2-18 – Condutores envolvidos em acidentes de trânsito em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, segundo o uso do cinto de segurança.**

**Fonte: PRF (2010)**

Da mesma forma do que foi observado na figura 2.1 sobre o uso de capacetes pelos motociclistas envolvidos em acidentes, os dados apresentados na figura 2.18 permitem estabelecer uma amostragem da proporcionalidade dos condutores que usam e os que não usam cintos de segurança no Brasil, o que demonstra a eficácia dos programas de conscientização.

O uso do cinto de segurança reduz o risco de morte entre os motoristas e os passageiros do banco da frente entre 45% e 50%, e o risco de lesão leve e grave em 20% e 45%, respectivamente. Em relação aos passageiros nos assentos traseiros, o uso do cinto de segurança reduz número de mortos e feridos grave em 25%, e a redução de lesões leves pode chegar a 75% (WHO, 2015).

### 2.2.7 Fatores relacionados ao ambiente

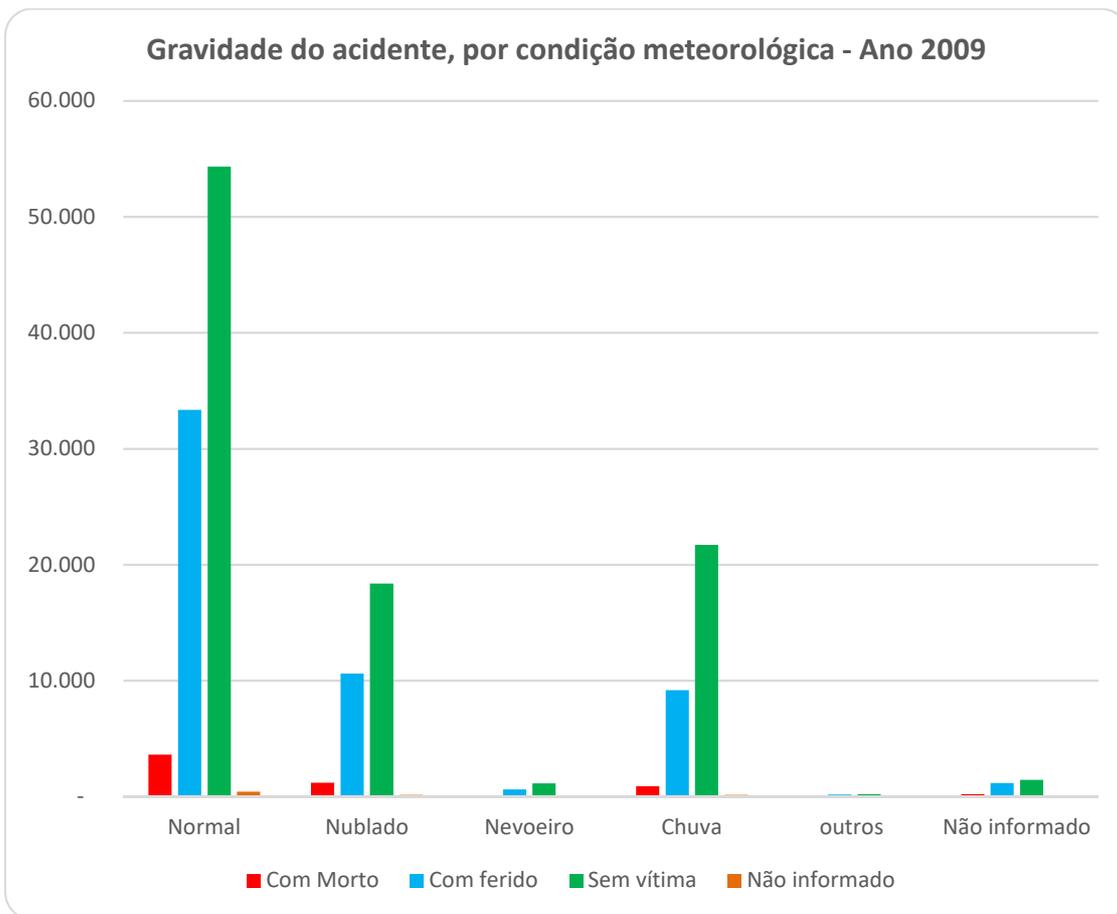
A influência de clima (chuva, temperatura, ventos, entre outros), luminosidade (excesso, falta ou súbita mudança) interferem de forma significativa na ocorrência de acidentes de trânsito.

Segundo BERGE-HAYAT *et al.* (2013), no âmbito nacional, os efeitos globais do clima sobre o número de acidentes com feridos são consistentes para a França e os Países Baixos:

- Precipitação é positivamente correlacionada com o número de acidentes com feridos (100 mm de chuva adicional durante um mês aumenta o número de acidentes com feridos nesse mês por 0,2 a 0,3%).
- A temperatura é positivamente correlacionada com o número de acidentes com feridos (1° C de temperatura adicional durante um mês aumenta o número de acidentes com feridos nesse mês de 1 a 2%).
- A ocorrência de geada está negativamente correlacionada com o número de acidentes de lesão (1 dia adicional de geadas durante um mês diminui o número de acidentes com feridos nesse mês por 0,3 a 0,6%)

Análises espaço-temporais permitem conhecer as variações ocorridas por horário, fase do dia ou dias de semana. A partir destas combinações é possível explorar diferentes formas de percepção de padrões e fatores relevantes associados aos acidentes de veículos. (PLUG *et al.*, 2011).

A figura 2.19 representa os números relativos aos acidentes ocorridos em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, segundo as condições meteorológicas do local do acidente no momento do acidente.



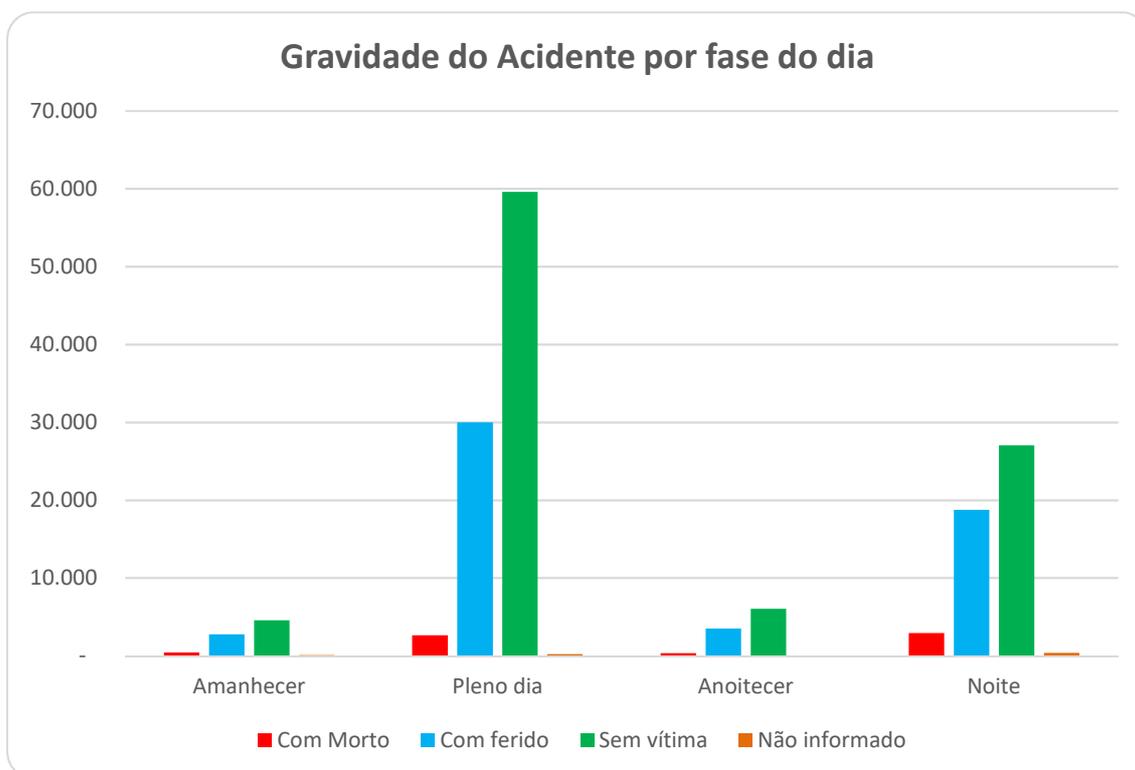
**Figura 2-19 – Gravidade do acidente de trânsito em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, segundo a condição meteorológica.**

**Fonte: PRF (2010)**

A figura 2.20 representa os números relativos aos acidentes ocorridos em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, segundo a fase do dia. Pode-se observar que ao contrário do que seria lógico, os maiores índices de acidentes acontecem em pleno dia, com boas condições de luminosidade. Julga-se oportuno definir que para a consolidação dos referidos dados, considera-se como Normal a pista seca e como Chuva não estão claramente distinguidos os diferentes índices pluviométricos.

MORGAN e MANNERING (2011) afirmam que existem grandes diferenças nas probabilidades médias de gravidade do condutor-lesão de um grupo de idade / gênero / superfície-condição. Os resultados deste estudo sugerem a necessidade de analisar com mais atenção o processo pelo qual os motoristas avaliam e reagem às mudanças na superfície da estrada induzidas pelo clima. Pesquisas adicionais nestas linhas (que teriam um forte componente de fatores humanos) poderiam resultar em esforços educacionais /

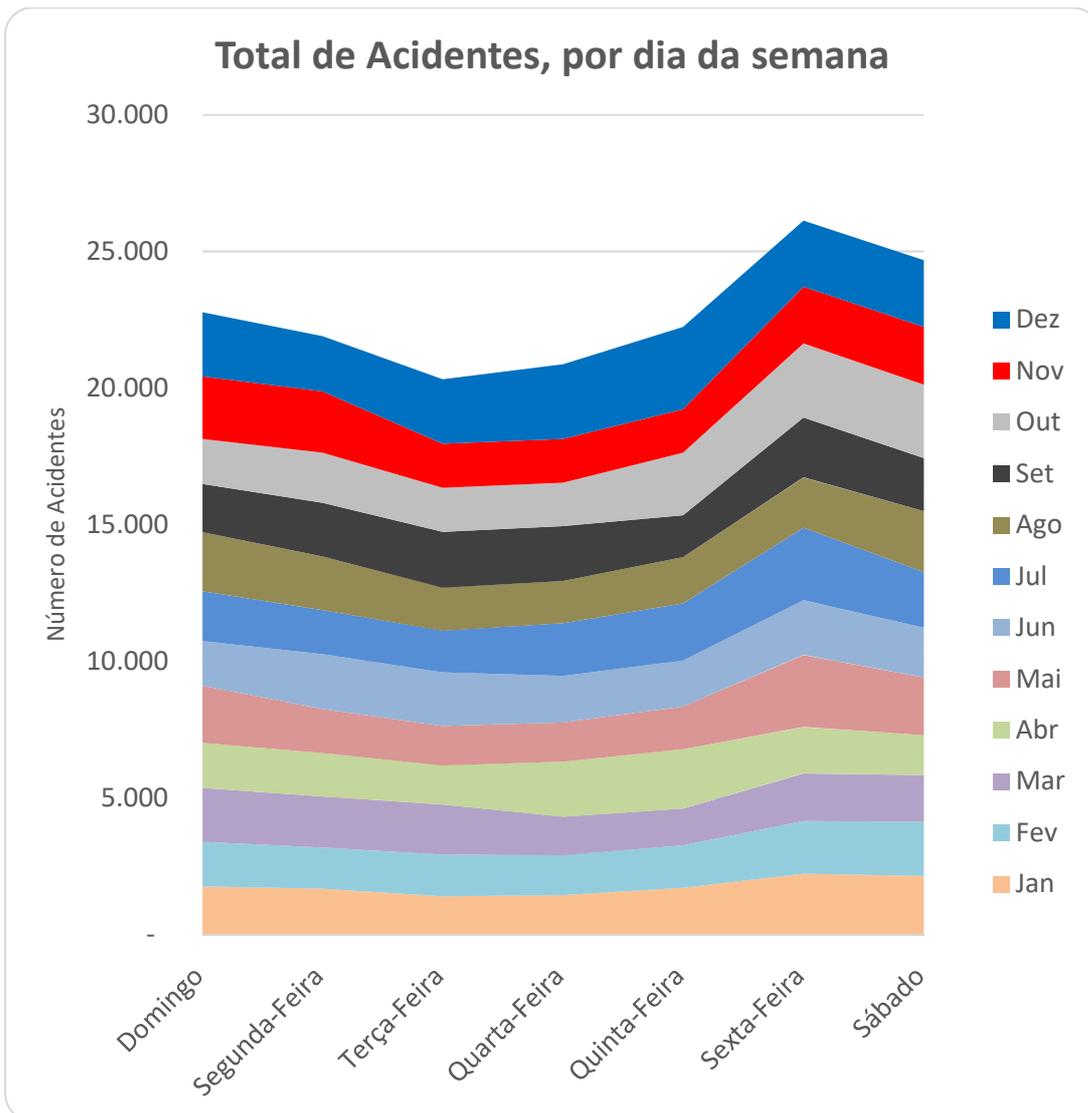
de habilitação destinados a melhorar a segurança de subgrupos específicos da população motorizada. Sem dúvida, os dados de acidentes relatados pela polícia são limitados. A falta de informações detalhadas sobre as condições meteorológicas / de superfície antes (o que pode afetar a forma como os condutores foram ajustados) ou no momento do acidente, os autores observam ainda a precariedade dos dados sobre como os motoristas podem reagir antes e durante o acidente, seus tempos de reação, acuidade visual, experiência relacionada ao clima, e assim por diante.



**Figura 2-20 – Gravidade do acidente de trânsito em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, por fase do dia.**

**Fonte: PRF (2010) adaptado pelo autor**

Outra análise que se torna relevante no caso dos acidentes em rodovias federais brasileiras é a tendência de maior concentração destes acidentes por dia de semana ou mês que pode facilmente ser associada ao volume de veículos em circulação por finais de semana, feriados ou férias escolares. A figura 2-21 representa os dados extraídos dos relatórios da PRF (2010).



**Figura 2-21 – Acidentes de trânsito ocorridos em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, por dia de semana, consolidado por mês.**

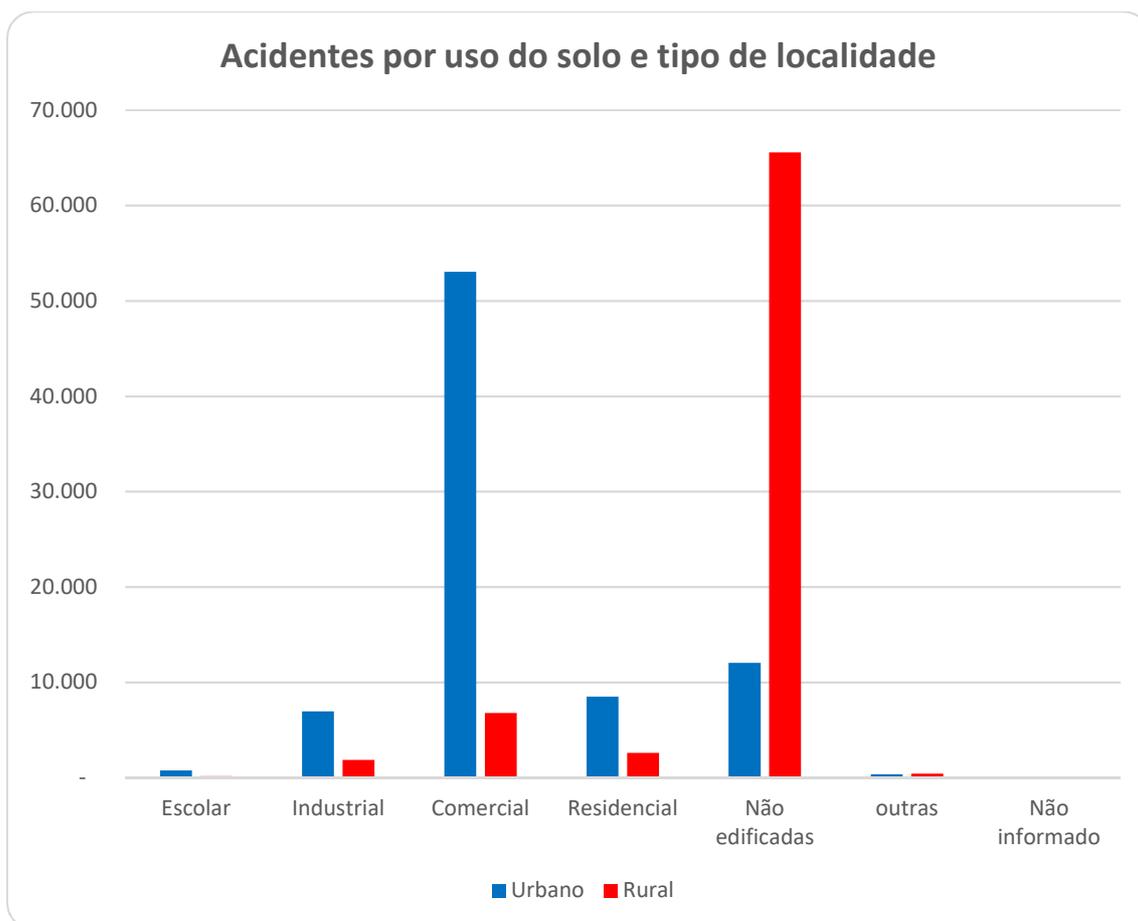
**Fonte: PRF (2010) adaptado pelo autor**

Pelos dados apresentados na figura 2-21 pode-se observar a predominância dos acidentes ocorridos às sextas feiras em relação aos demais dias de semana, seria importante analisar se a variação de quantidade de acidentes efetivamente está associada ao aumento na quantidade de veículos em circulação ou se poderia estar associada a outros fatores como por exemplo número de condutores alcoolizados, condições climáticas, psicológicas ou comportamentais, etc.

### 2.2.8 Fatores relacionados às vias de tráfego

Segundo MORGAN e MANNERING (2011) as mudanças resultantes nas condições da superfície da estrada têm sido reconhecidas como fatores que contribuem para as frequências e severidades dos acidentes rodoviários. O efeito que as condições adversas da superfície da estrada têm sobre a probabilidade e a gravidade das falhas depende de muitos fatores. Talvez a mais importante seja a capacidade dos motoristas em perceber e se adaptar adequadamente às mudanças geradas pelo clima nas condições da superfície da estrada.

Fatores como o uso do solo e do tipo de localidade, associados a características das vias, traçado, estado de manutenção, sinalização vertical e horizontal, existência de iluminação, faixas de travessia, etc. são preponderantes na quantidade e características dos acidentes de trânsito. A figura 2.22 apresenta o relacionamento entre o uso do solo e o tipo de localidade associando-os à quantidade dos acidentes ocorridos nas rodovias federais brasileiras durante o ano de 2009, segundo a PRF (2010).



**Figura 2-22 – Acidentes de trânsito em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, por uso do solo e tipo de localidade.**

Fonte: PRF (2010) adaptado pelo autor

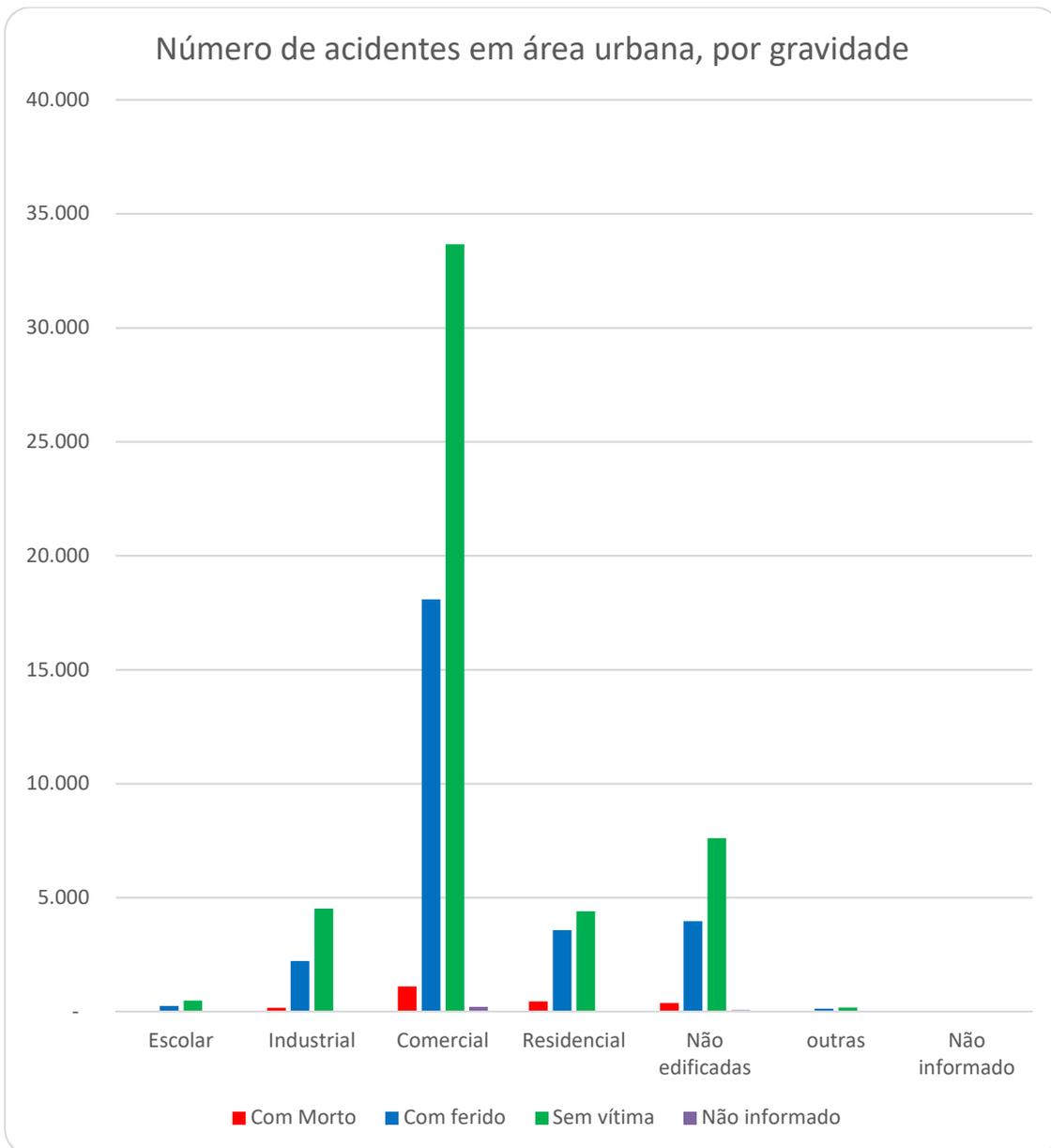
Segundo BUDDHAVARAPU *et al.* (2013) estatísticas de frequência sobre colisões indicam que a manutenção das condições de segurança das vias em traçados em curvas horizontais é muitas vezes crucial em estradas rurais de mão dupla. O Federal Highway Administration (FHWA) tem feito o arquivamento de estatísticas de acidentes fatais nos Estados Unidos desde 1994 na base de dados de seu Sistema de Informação de Análise de Acidentes Fatais (FARS). As estatísticas do FARS mostram que 32.885 pessoas foram mortas em 30.196 acidentes fatais nas rodovias americanas durante o ano de 2010, dos quais, curiosamente, cerca de 27 por cento ocorreram em trechos de curvas com duas pistas.

Segundo BUDDHAVARAPU *et al.* (2013) as bases de dados de acidentes mantidas por governos estaduais e federal, os Estados Unidos da América, fornecem informações detalhadas referentes a características do veículo e motorista. Porém a condição da superfície do pavimento, no momento do acidente não é normalmente registrada em tais bancos de dados. No entanto, muitas agências de transporte do estado têm procurado manter os dados de condição do pavimento em toda a malha como parte de seu Sistema de Gestão de Pavimentos (PMS). Cada agência utiliza vários índices para representar a condição atual do pavimento em termos de integridade estrutural, qualidade de tráfego, e segurança: valores limite apropriados são selecionados para tais índices para assegurar que sejam cumpridos os padrões estruturais e de segurança para cada tipo específico de via.

KATTAN (2011) cita a alta proporção de crianças em idade escolar, utilizando estrada em suas viagens de e para as escolas e playgrounds, especialmente como pedestres e ciclistas o que torna particularmente arriscado em torno de áreas urbanas. Como a velocidade é considerada um fator importante para os riscos de mortalidade e de lesões, muitos países têm reduzido o limite de velocidade legal em torno das escolas e alguns estenderam-no para playgrounds também. Quanto mais rápido um veículo percorre uma via e atinge um pedestre, mais grave e potencialmente fatais serão as lesões causadas.

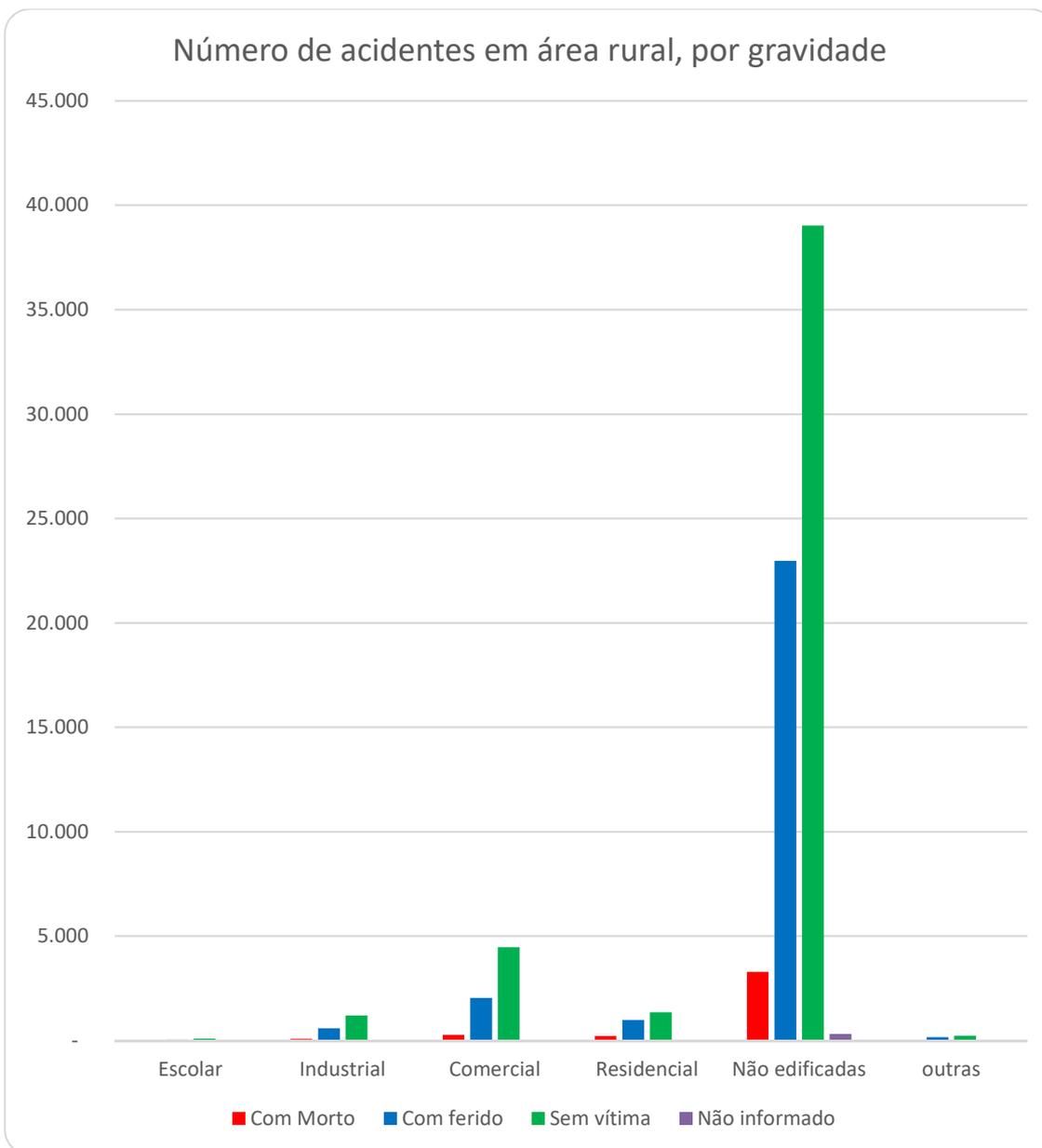
PULUGURTHA (2011) *apud* SHANKAR *et al.* (2003) verificaram que as variáveis preditoras como: tráfego médio diário; intervalo e tempo da sinalização semafórica; iluminação da via; variáveis de projeto de rede; variáveis de política social e presença de retorno pelo canteiro central das vias, têm um efeito significativo sobre as probabilidades de acidentes para pedestres.

Ainda PULUGURTHA (2011) *apud* TORBIC *et al.* (2010) cita que foi desenvolvida uma metodologia para quantificar os efeitos de segurança de pedestres relacionadas às características de lugares e/ou melhorias propostas em vias arteriais urbanas e suburbanas. A metodologia incluiu modelos de base para três e quatro aproximações em cruzamentos sinalizados e vários fatores de modificação do acidente (FMAs). O estudo constatou que o volume de travessia de pedestres diário tem uma relação estatisticamente significativa as falhas relacionadas a acidentes veículo-pedestres em cruzamentos sinalizados. Quanto à frequência de colisão veículo-pedestre foi observada que eram em maior quantidade, quando a relação de volume de tráfego rodoviário era mais baixa. Além disso, acidentes veículo-pedestres foram maiores em interseções onde havia mais faixas a serem cruzadas. As figuras 2.23 e 2.24 buscam relacionar a gravidade dos acidentes ocorridos nas rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, e o tipo de uso do solo segmentado pela finalidade de seu uso principal (Escolar, Industrial, Comercial, Residencial, não edificadas, outras ou não informado).



**Figura 2-23 – Número de acidentes de trânsito em rodovias federais brasileiras, ocorridos em áreas urbanas, durante o ano de 2009, por gravidade.**

**Fonte: PRF (2010) adaptado pelo autor**



**Figura 2-24 – Número de acidentes de trânsito em rodovias federais brasileiras, ocorridos em áreas rurais, durante o ano de 2009, por gravidade.**

**Fonte: PRF (2010) adaptado pelo autor**

É possível inferir-se que, a partir dos dados apurados durante o ano de 2009, há uma tendência clara de maior número de acidentes em áreas urbanas com concentração de atividades comerciais e uma maior concentração de ocorrências nas áreas rurais que não possuam áreas edificadas. A dificuldade de obter um mapa rodoviário que possua associação a estas informações inviabiliza a tentativa de se parametrizar dentro das áreas urbanas e rurais, o que permitiria perceber se as incidências são maiores em determinados pontos e as características socioeconômicas destas localidades.

### 2.2.9 Número de acidentes relacionados aos períodos de feriados nacionais

É notória a relevância dos feriados nos acidentes e certamente além do aumento de veículos em circulação nas vias outros fatores se tornam relevantes como por exemplo, consumo de bebidas, imprudência, veículos em mau estado, sinalização precária, etc. A figura a seguir representa a incidência dos acidentes durante o período dos principais feriados nacionais ocorridos durante o ano de 2009, a partir da gravidade dos acidentes.

### Número de acidentes por gravidade ocorridos em feriados nacionais

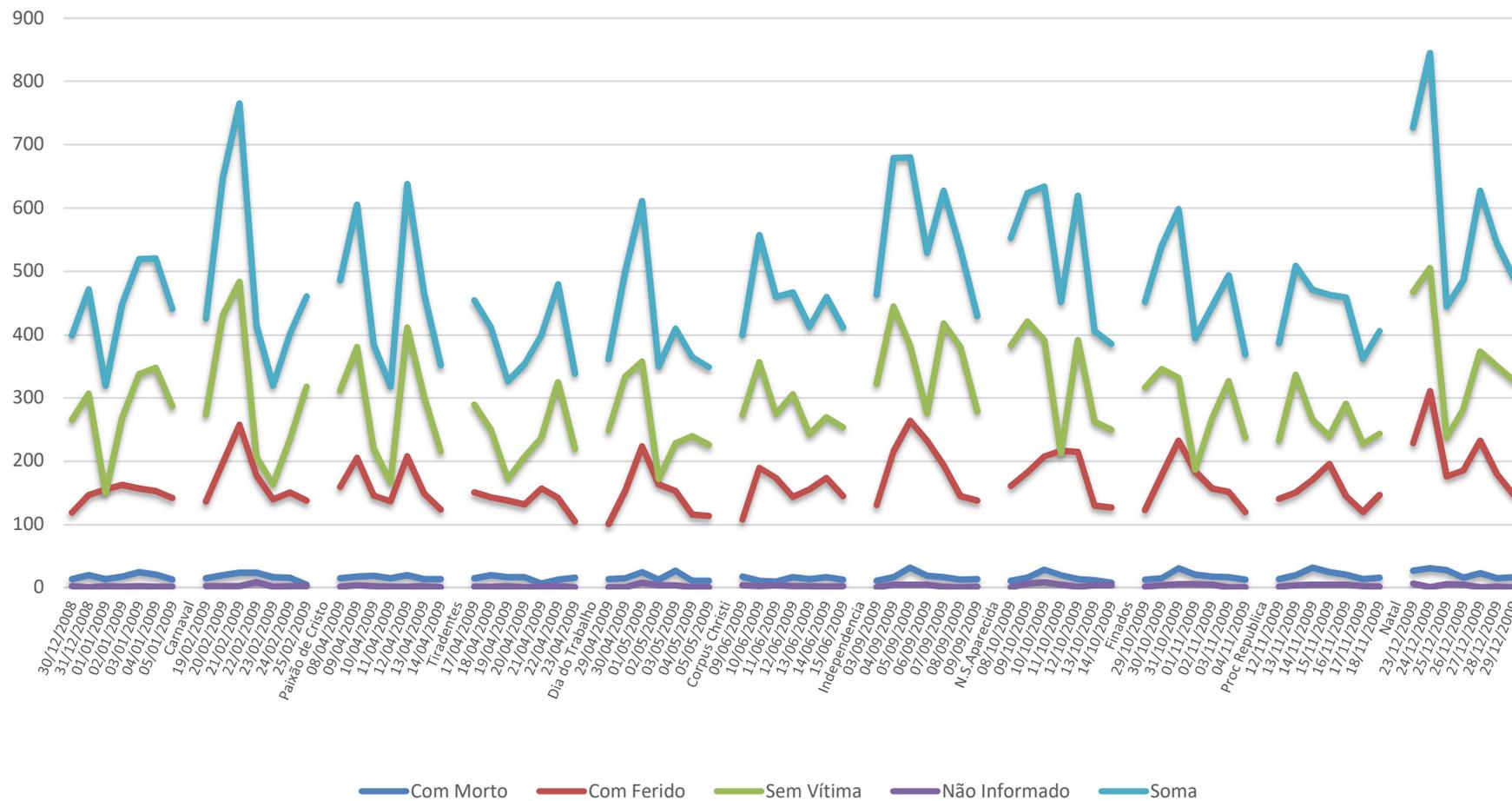


Figura 2-25 – Número de acidentes de trânsito em rodovias federais brasileiras, por gravidade, ocorridos em períodos de feriados nacionais durante o ano de 2009.

Fonte: PRF (2010) adaptado pelo autor

Pode-se observar que de forma similar, as maiores quantidades de ocorrência se manifestam no segundo e no penúltimo dia dos períodos estabelecidos pela PRF. O que sugere se tratarem dos dias de maior volume de tráfego de veículos.

A figura 2.26 faz o tratamento dos mesmos dados, porém apresentando-os em termos de participação percentual dos acidentes, a partir de sua gravidade.

Nesta visualização é possível perceber um comportamento harmônico na participação proporcional dos acidentes, em função da sua gravidade, durante os períodos de feriados.

Uma outra forma de trabalhar estas informações seria a partir de sua classificação por tipos de veículos envolvidos nos acidentes nos mesmos períodos. A figura 2.27 representa a participação percentual de cada tipo de veículo, nas ocorrências de acidentes.

### Acidentes ocorridos em feriados nacionais (vítimas por gravidade)

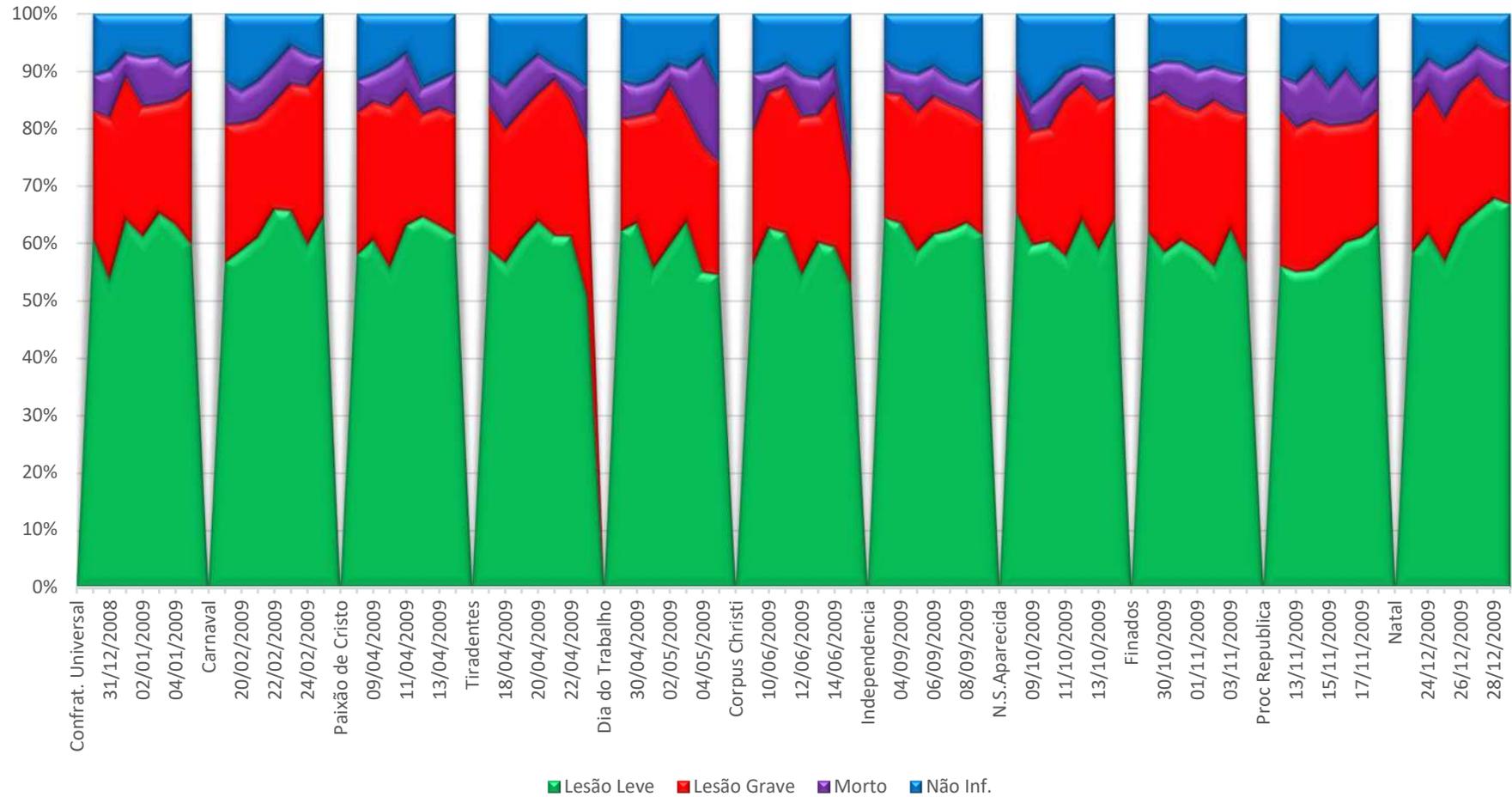


Figura 2-26 – Participação percentual dos acidentes de trânsito em rodovias federais brasileiras, por gravidade, ocorridos em períodos de feriados nacionais durante o ano de 2009.

Fonte: PRF (2010) adaptado pelo autor

### Acidentes ocorridos em feriados nacionais por tipo de veículo

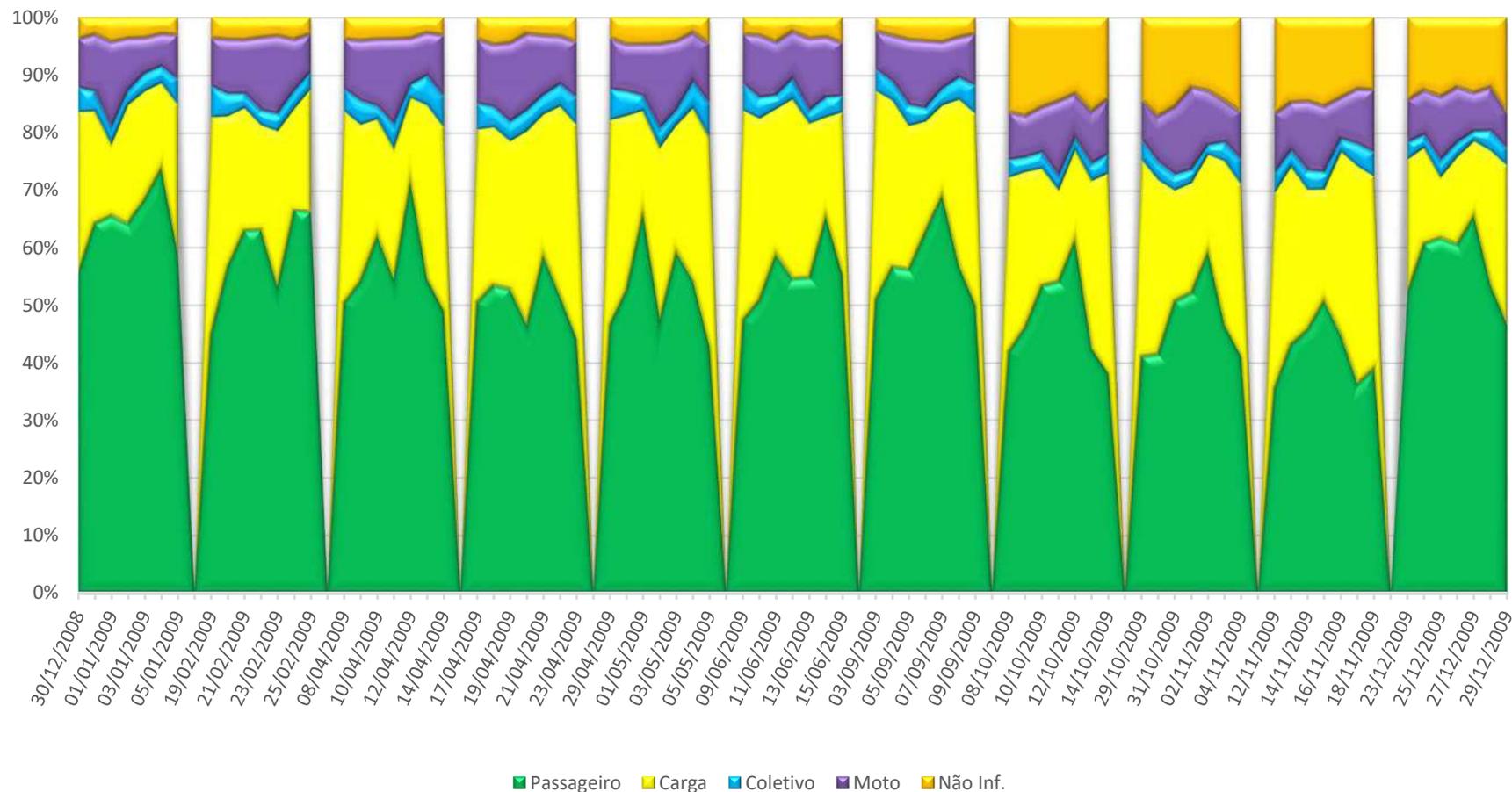
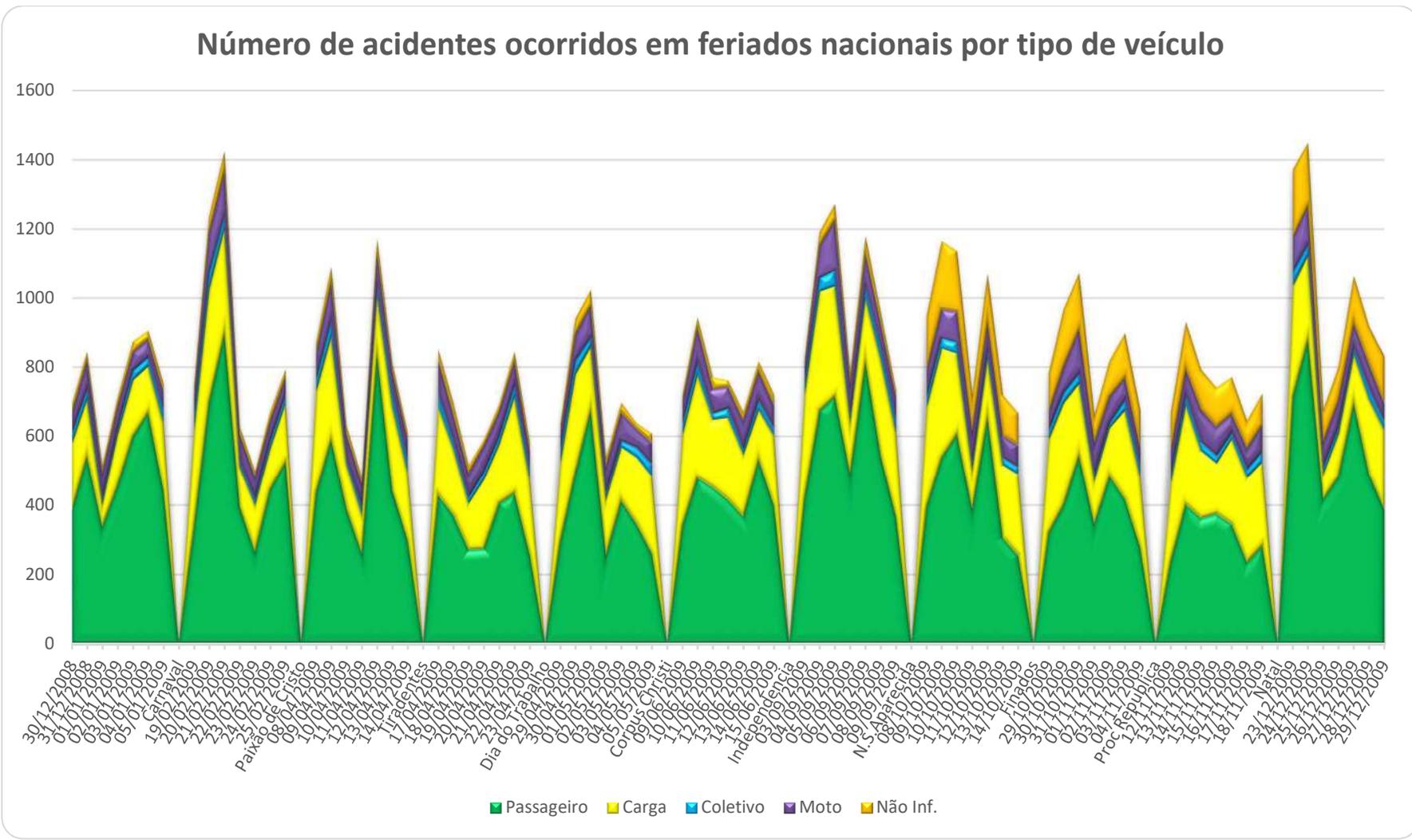


Figura 2-27 – Participação percentual nos acidentes ocorridos em feriados nacionais nas federais brasileiras, por tipo de veículo durante o ano de 2009.

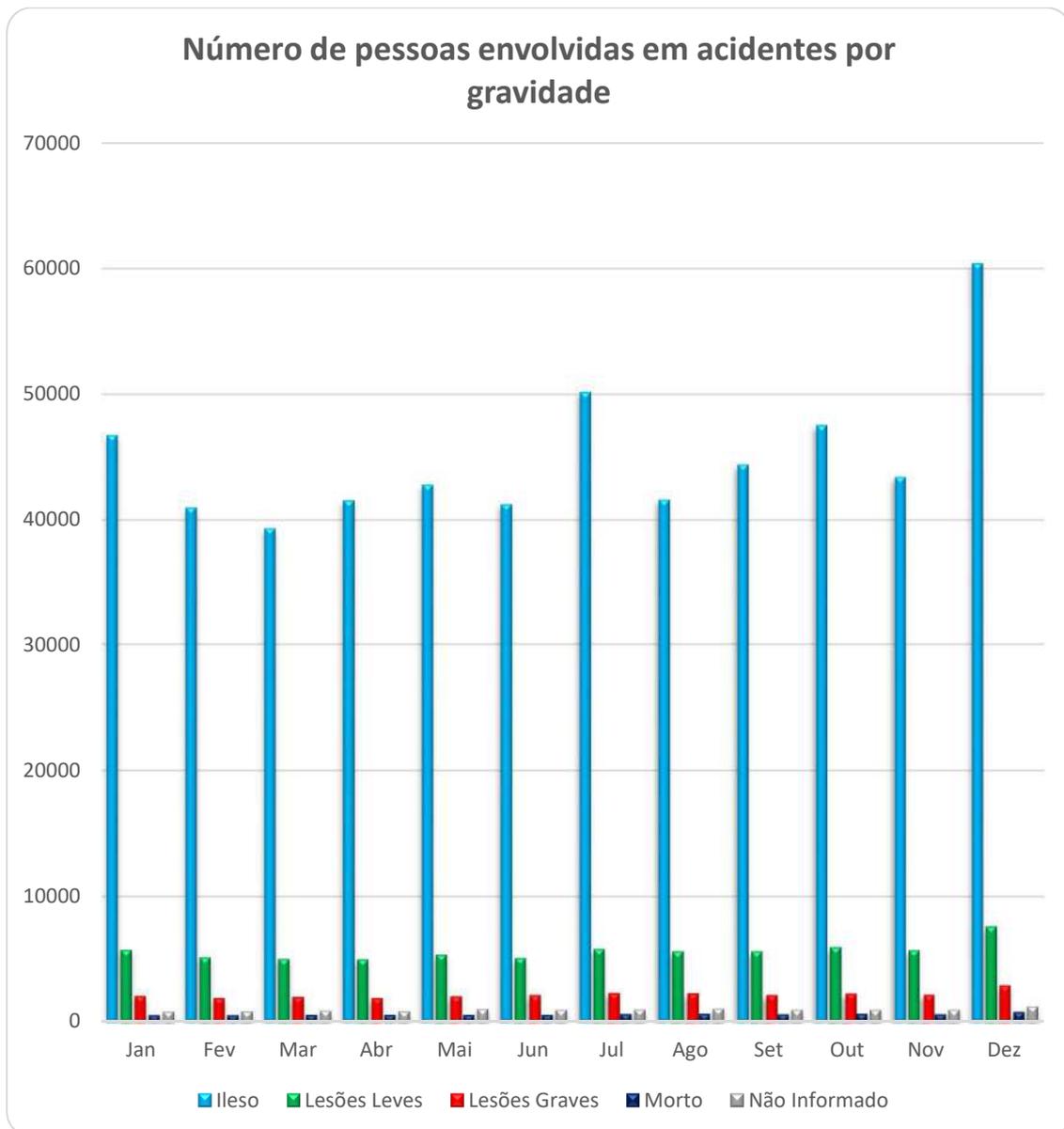
Fonte: PRF (2010), adaptado pelo autor

Pela figura anterior observa-se uma maior participação dos veículos de passageiros e veículos de carga de forma harmônica nos diferentes períodos de feriados. Esta informação, porém, não se mostra como conclusiva, haja vista, que se perde a noção dos números exatos dos acidentes por período de feriado. Assim, na figura 2.28 apresenta-se a mesma informação, mas em números absolutos.

Analisando a figura 2.28 é possível observar que as maiores ocorrências de acidentes estão concentradas nos feriados de Carnaval, Natal e Independência, porém julga-se relevante observar que há um perfil similar em todos os períodos observados, sendo o maior número de ocorrências no segundo dia uma queda significativa nos dias subsequentes e uma nova elevação no penúltimo dia. O que certamente está relacionado aos diferentes volumes de veículos durante estes períodos, com maiores quantidades nos dias de maior incidência dos acidentes, o que permite inferir sobre a provável relevância do uso das medições dos volumes de veículos como fator de relacionamento com a quantidade e gravidade de acidentes.



Continuando um pouco mais no estado físico das pessoas envolvidas em acidentes nas rodovias federais durante o ano de 2009, foi feita uma distribuição por mês para que se possa avaliar se existe uma normalidade na distribuição dos acidentes. A figura 2.29 representa esta distribuição mensal.

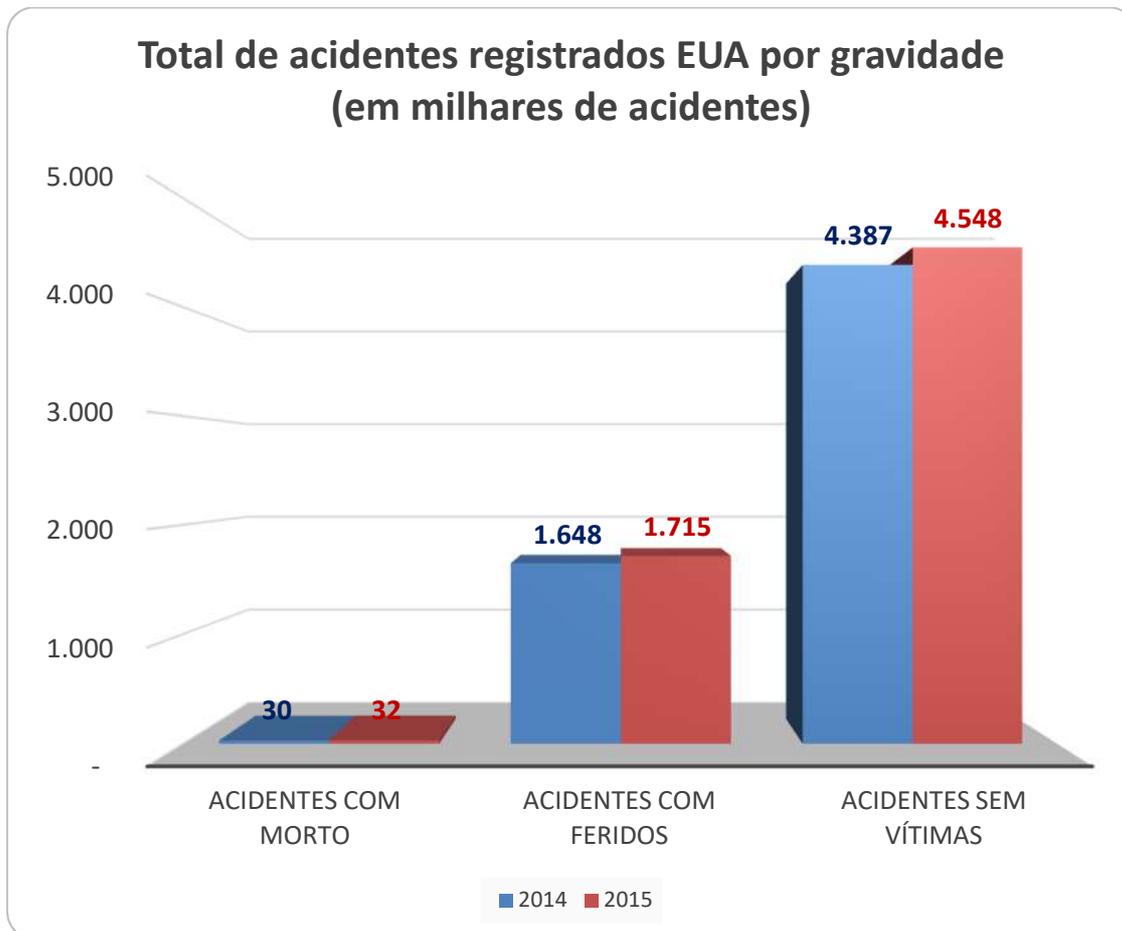


**Figura 2-29 – Número de pessoas envolvidas em acidentes ocorridos por mês nas rodovias federais brasileiras, por gravidade, durante o ano de 2009.**

**Fonte: PRF (2010) adaptado pelo autor**

Na figura 2.29 é possível observar uma tendência de maior número de ocorrências nos meses relacionados às férias escolares (janeiro, julho e dezembro). Exceção somente aos números apresentados para o mês de outubro.

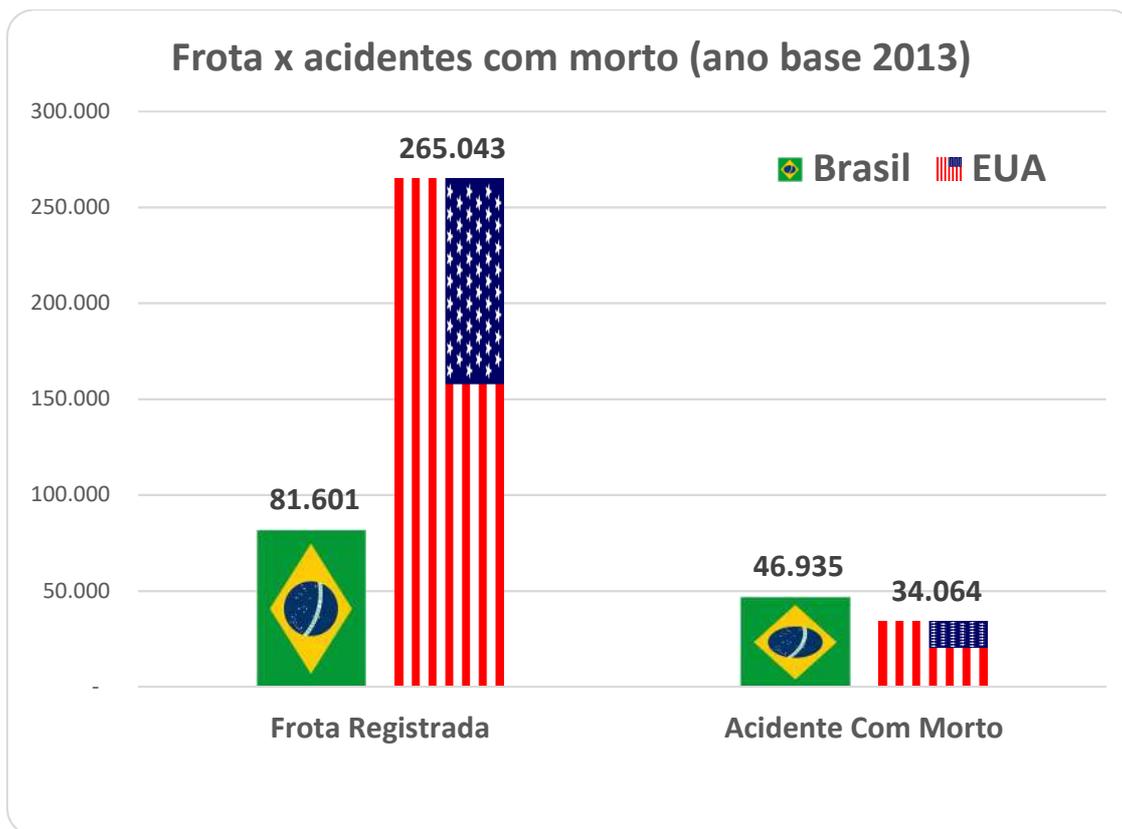
Apenas para efeitos de comparação a figura 2.30 apresenta os dados do total de acidentes ocorridos nos EUA, durante os anos de 2014 e 2015.



**Figura 2-30 – Total de acidentes registrados nos EUA por gravidade nos anos de 2014 e 2015, em milhares de acidentes.**

**Fonte NHTSA (2015), adaptado pelo autor**

Em uma primeira análise pode trazer surpresa a quantidade total de acidentes que supera os seis milhões e o que é pior está numa ascendente. Para permitir um paralelo de comparação a figura 2.30 representa a comparação dos dados relativos aos totais de acidentes com morto no Brasil e nos EUA e a relação mortos pelo tamanho da frota registrada.

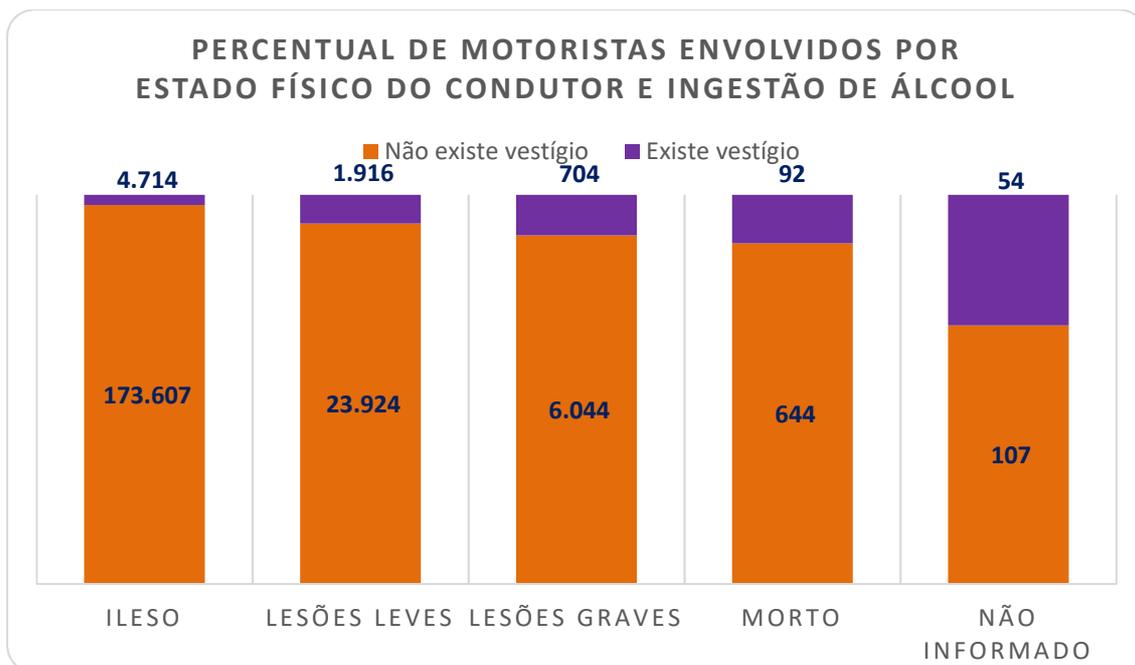


**Figura 2-31 – Comparação entre o tamanho da frota registrada e o número de acidentes com mortos Brasil x EUA no ano de 2013.**

**Fonte: WHO (2015), adaptado pelo autor**

Nota-se que apesar do tamanho da frota registrada nos EUA ser mais que o triplo da frota brasileira a quantidade de acidentes com mortos é 28% menor. Esta disparidade de números pode indicar desnível nos níveis de segurança e proteção dos veículos registrados em ambos os países, maior rigor na observância das normas de trânsito dentre outras, porém segundo os dados da NHTSA (2016) sobre os acidentes nos EUA, cerca de 29% dos acidentes fatais estão associados ao uso de álcool acima da tolerância (0,08g/dl para a população em geral e 0 para jovens ou motoristas novatos), segundo o mesmo relatório, no ano de 2015, houve um incremento de 3,2% em relação ao ano anterior.

Dados da PRF (2010) consolidados na figura 2.32, demonstram uma relação percentual entre os acidentes ocorridos durante o ano de 2009, e a ingestão de álcool por parte dos condutores pela gravidade dos acidentes. Observa-se que há uma participação percentual maior à medida que a gravidade aumenta. Logo pode-se afirmar, a partir dos dados apresentados, que há uma interferência direta entre o consumo de álcool por parte dos condutores e a gravidade dos acidentes causados.



**Figura 2-32 – Percentual de condutores envolvidos em acidentes em rodovias federais brasileiras durante o ano de 2009, por estado físico e ingestão de álcool e gravidade do acidente**

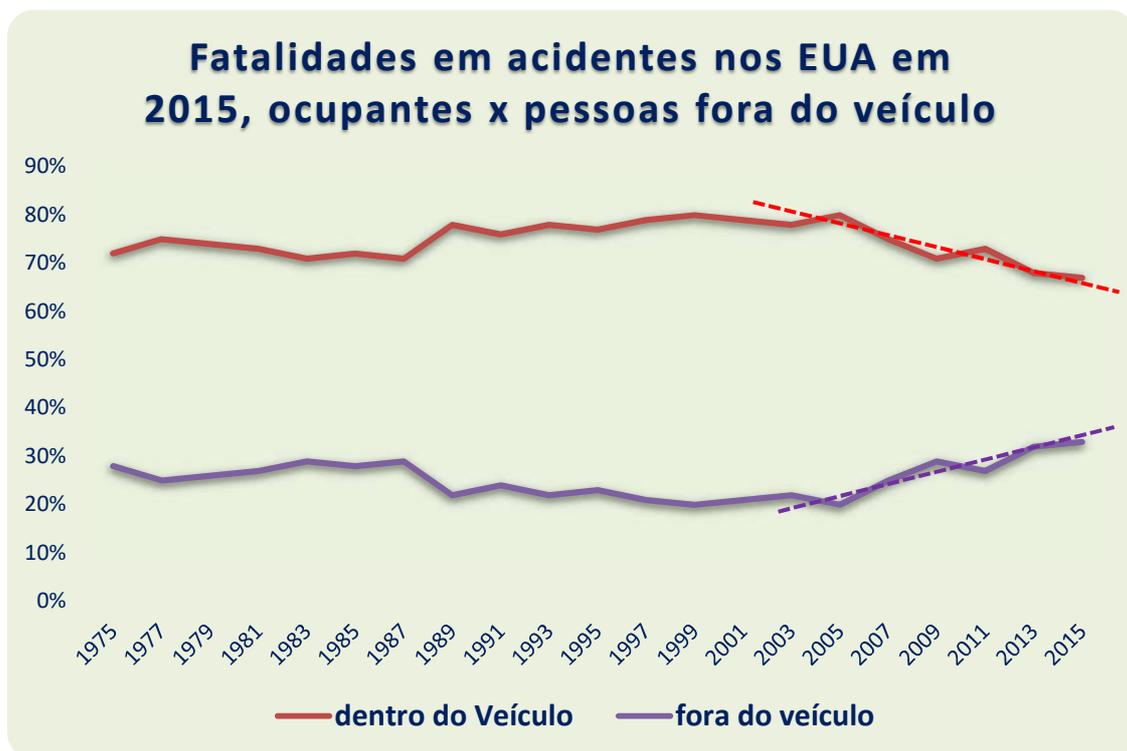
**Fonte PRF (2010) – Adaptado pelo autor**

Julga-se oportuno buscar um paralelo com os dados disponibilizados pela NHTSA (2016). Nos EUA, durante o ano de 2015, 10.265 (de um total de 35.092) mortes em acidentes de trânsito nos EUA, estavam associadas ao consumo de álcool pelos condutores.

### **2.3. A tecnologia embarcada em veículos e a oportunidade de sua utilização de forma preventiva a acidentes fatais**

Nos últimos anos, com o avanço das pesquisas e simplificação no uso da tecnologia, é significativo o número de sensores e dispositivos instalados nos veículos que permitem não só monitorar o seu funcionamento, mas principalmente informar aos motoristas melhores rotas, condições de tráfego, limites de velocidade da via, alertas ao trafegar acima da velocidade permitida, existência de dispositivos de controle de velocidade instalados na via, sensores de aproximação de veículos e pedestres, sensores de chuva, sensores de luminosidade, sensores de frenagem brusca do veículo que vai a frente, sensores de sonolência ou distração do condutor, entre outros. Segundo a NHTSA (2016) houve um crescimento no número de acidentes fatais nos EUA no ano de 2015 em relação

ao ano de 2014 na ordem de 8,8% associados à distração ao volante, onde o uso de celular ao volante é a maior causa e uma redução nos acidentes causados pelo sono em 3,2%. Percebe-se que a finalidade de toda esta tecnologia é orientar o motorista a evitar um acidente de graves proporções. É fato, porém, que estas informações não são integradas às informações relacionadas ao risco de acidentes graves nos trechos por onde o veículo circula. Entende-se que a consolidação do conjunto dessas informações, se trabalhadas de forma matemática, pode se transformar numa recomendação clara ao motorista do grau de risco atual de se envolver em um acidente fatal e quais ações podem ser adotadas para reduzir ou anular alguns dos fatores que potencializam momentaneamente este risco, como: aumentar a distância do carro à frente, reduzir a velocidade, acender os faróis, ter atenção a um pedestre ou ciclista em posição de risco, etc. Uma boa referência para confirmar a assertividade na introdução de novas tecnologias nos veículo é a mudança no perfil das fatalidades ocorridas nos acidentes envolvendo pessoas dentro e fora dos veículos, conforme a figura 2.34 a seguir.



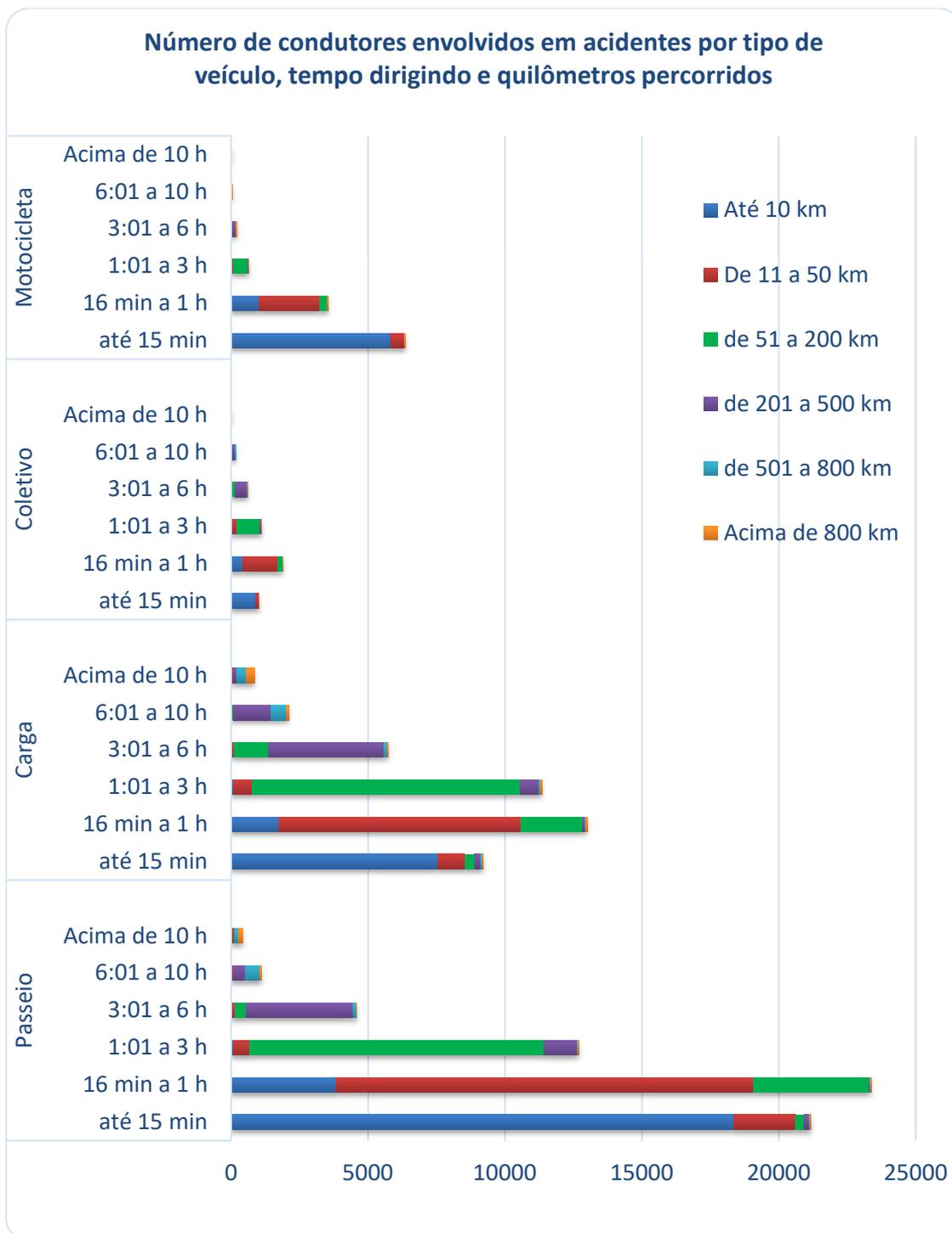
**Figura 2-33 – Fatalidades ocorridas em acidentes de trânsito nos EUA, no período de 1975 a 2015, por ocupantes e não ocupantes de veículos**

Fonte NHTSA (2016), adaptado pelo autor

Segundo Paixão *et al.* (2015) o grande número de vítimas fatais no próprio local do acidente, inclusive de ocupantes de automóvel, reforça a hipótese de que, apesar do

aumento da segurança dos veículos e da presença de redutores de velocidade, os acidentes foram mais graves pelo excesso de velocidade, mesmo em vias urbanas. O aumento de internação aponta para a gravidade dos acidentes, evidenciada também pelas lesões registradas nas declarações de óbito e nas autorizações de internação hospitalar. Os politraumatismos foram a principal causa mortis, muitas vezes imediata, e os traumatismos cranianos foram o principal motivo da internação. Em estudo de revisão, cabeça/pescoço foi a segunda região do corpo mais atingida dentre os acidentados, sendo antecedida por lesões em membros inferiores/superiores.

A figura 2.35 apresenta de forma resumida dados extremamente relevantes sobre a quantidade e gravidade dos acidentes ocorridos nas rodovias federais brasileiras, a partir de duas informações: o tempo de viagem desde a última parada para descanso; e a quilometragem total rodada desde o início da viagem. Entende-se que estes números podem permitir um correlacionamento direto com fatores como distração, perda de concentração e até mesmo cansaço dos condutores envolvidos o que reafirma a relevância da empregabilidade das novas tecnologias nos veículos.



**Figura 2-34 – Quantidade de acidentes ocorridos nas rodovias federais, durante o ano de 2009, a partir de sua gravidade por tempo de viagem desde a última parada e quilometragem já percorrida desde o início da viagem.**

**Fonte: PRF (2009)**

A figura 2.35 resalta situações bastante distintas que denotam a necessidade de um aprofundamento da análise para respostas conclusivas, a saber:

- Nos acidentes envolvendo motociclistas é relevante o indicativo de que sua ocorrência é significativamente maior em trechos de viagem inferiores aos 15 minutos e 10 km percorridos, o que sugere falta de concentração no deslocamento;
- Nos acidentes envolvendo veículos de transporte coletivo os maiores índices de ocorrência estão vinculados às viagens com duração entre 16 minutos e uma hora, sendo mais significativos os valores nos trajetos entre 11 e 50 quilômetros;
- Nos acidentes relacionados aos veículos de carga existe uma pequena preponderância não relevante nos percursos com duração entre 16 e 60 minutos, porém há números significativos também para aqueles até 15 minutos e acima de 1:01 até 3:00 horas;
- Nos acidentes envolvendo veículos de passeio são relevantes as ocorrências entre 16 minutos e 1 hora e até 15 minutos.

Salvo melhor juízo, estes números relacionados, especialmente aos veículos de passeio e de transporte de carga, parecem ter uma associação relevante:

- Nas viagens iniciadas há menos de 15 minutos da última parada, é significativo o número de acidentes com trajetos até 10 quilômetros;
- Nas viagens entre 16 e 60 minutos, as maiores ocorrências sugerem percursos de 11 a 50 quilômetros;
- Nas viagens 1:01 a 3:00 horas são relevantes as ocorrências nos percursos entre 51 e 200 quilômetros;

Esses números podem sugerir uma associação dos acidentes à proximidade de conclusão do trajeto, ou seja, uma tendência já consagrada na bibliografia mundial sobre a influência da “milha final” na quantidade de acidentes, ou seja, fatores psicológicos e fisiológicos associados à ansiedade da chegada.

Segundo KUMAR e TOSHNIWAL (2016) os acidentes rodoviários são um dos principais fatores para a morte prematura, incapacidade parcial ou total e danos à propriedade, o que é inaceitável em qualquer forma. Um dos fatores importantes na análise da segurança rodoviária é identificar certas regiões onde as tendências dos acidentes rodoviários estão ocorrendo mais do que outras. A análise de séries temporais desempenha um papel importante na análise de tendências e identifica se a tendência também aumentará no futuro.

### **3. TRATAMENTO DE DADOS DE ACIDENTES EM RODOVIAS COM ENFOQUE ESPACIAL**

O objetivo do setor de transporte é promover o movimento de pessoas e bens de forma segura e eficiente. Os pesquisadores desenvolveram maneiras de avaliar a segurança nas estradas e identificar maneiras de mitigar condições inseguras. Por exemplo, nos Estados Unidos, o FHWA exige que cada estado seja parte do Programa de Melhoria da Segurança Rodoviária para apresentar um relatório anual descrevendo pelo menos 5 % das suas rodovias que exibam as mais severas necessidades de segurança, bem como desenvolver um plano para remediar esses locais perigosos, num esforço para fornecer uma rede de transporte segura e eficiente (ADREES, M. *et al.*, 2016).

#### **3.1 A importância do uso de Sistemas de Informações Geográficas no tratamento de dados sobre acidentes de trânsito**

Vários estudos vêm se utilizando de Sistemas de Informações Geográficas (Geographic Information System - GIS) como uma ferramenta para gerenciamento de dados e análise espacial de acidentes, alguns deles estabelecendo combinações com modelos estatísticos que determinam o relacionamento entre os acidentes e fatores causais (BAZQUEZ e CELIS, 2013).

O GIS é uma ferramenta, que permite, por exemplo, inserir um plano de informações estatísticas dos acidentes a partir de sua localização geográfica, tornando viável a criação de um mapa dos acidentes no espaço, a partir da existência de arquivo com mapa digitalizado da cidade ou rodovia. O grande diferencial trazido pela incorporação do uso desta tecnologia de análise de dados reside, por exemplo, na facilidade de observação geográfica das áreas de concentração de ocorrências a partir de critérios espaciais.

Tem grande importância na identificação dos locais com grande ocorrência de acidentes a partir de critérios específicos, como: concentração de acidentes em um local definido, que pode ser uma interseção ou trecho de via com pequena extensão (denominados locais críticos); concentração ao longo de um trecho de via (trecho crítico); concentração em uma determinada área (área crítica); concentração em lugares com características similares (cruzamentos ferroviários em nível, faixas de travessia de pedestres, semáforos, etc.) localizados numa região da cidade, de uma rodovia, etc. (FERRAZ, 2012). Uma

variedade de métodos tem sido proposta para definir conjuntos de acidentes de trânsito e, desta forma, técnicas de agrupamento espaço-temporal são necessários. Uma abordagem com o uso de estimativa de Kernel permite definir melhor o conjunto de locais com maior número de acidentados. No entanto, os métodos podem ser afetados pelo efeito extensão da área e não oferecem uma visão sobre os fatores subjacentes que afetam a distribuição espacial (DAI, 2012). A questão é que a população exposta ao risco de acidente pode ser relacionada ao volume de pedestres e veículos, porém a contagem de pedestres não é um dado que esteja prontamente disponível (PULUGURTHA e SAMBHARA, 2011).

Segundo ADREES, M. *et al.* (2016) o GIS tem a capacidade de detectar relacionamentos espaciais em acidentes que não podem ser detectados por métodos tradicionais de dados estatísticos. Existem muitas ferramentas estatísticas espaciais agora no software GIS para permitir que os analistas criem modelos complexos em um processo simples.

A caracterização espacial dos acidentes num sistema GIS depende da forma de identificação do local no boletim de ocorrência e no mapa digital. Nas áreas urbanas, o modo mais simples é identificar o local do acidente através do nome da via onde o mesmo ocorreu, seguido do nome de outra via se for uma interseção, ou dos nomes das vias transversais anterior e posterior se for num meio de quadra. Outra forma, mais trabalhosa na montagem do mapa digital, mas que fornece uma localização mais precisa, é associar o local do acidente com o nome da via a pontos de referência ou ao número do imóvel mais próximo (FERRAZ, 2012). O uso da tecnologia trazida pelo GIS permite gerar distintos mapas temáticos, a partir de diferentes bases de dados associando, por exemplo, locais e/ou trechos críticos e a existência ou não de características predominantes nos acidentes ocorridos. Isto resulta em uma ferramenta de análise da natureza dos acidentes e de ações mitigadoras sobre os fatores, que devem então ser desenvolvidas. Segundo FERRAZ (2012) as variáveis utilizadas nos modelos podem ser divididas em três categorias:

- Variáveis socioeconômicas, demográficas que incluem população por grupos de idade, população infantil ou minoritária, densidade demográfica, renda média familiar, entre outras.
- Característica da via e do tráfego, por exemplo, veículo-milha viajada (VMT), extensão da via por cada limite de velocidade, quantidade de cruzamentos, entre outras.
- Peculiaridades dos trajetos das pessoas em itinerários como casa-trabalho-casa, casa-escola-casa, casa-compras-casa, levando em conta os tempos de deslocamento,

número de trocas de veículos ou meios de transporte (inclusive, a pé e/ou bicicleta até os pontos de embarque, por exemplo). Proximidades a escolas, igrejas, shoppings, pontos de ou corredores expressos de ônibus, estações de trem, barcas, metrô, VLT, etc.

Desta forma, a grande utilidade no uso da ferramenta GIS é permitir a associação de dados sobre acidentes às informações socioeconômicas da população, possibilitando atuar de forma preditiva para sua não ocorrência (ABDEL-ATY *et al.*, 2012). Torna-se relevante investigar a proximidade dos locais de grande incidência de atropelamentos, como escolas ou estabelecimentos que vendem bebidas (bares, restaurantes e pubs), tendo somente o cuidado na análise destas informações, pois os arquivos disponíveis podem mostrar a localização dos estabelecimentos com licenças para a venda de bebidas alcoólicas, no entanto, estes podem não ser obrigatoriamente os locais onde as pessoas vão ingerir álcool (MITRA, 2009). No Brasil esta base de informações ainda é muito precária e estes fatores somente são associados aos acidentes após uma investigação do local do acidente e arredores.

Segundo AMOH-GYIMAH *et al.* (2017) o primeiro passo na modelagem de previsão de acidentes de nível macro é agregar os dados disponíveis em uma entidade espacial ou geográfica definida. Nos modelos de predição de acidentes de nível macro, a relação entre contagem de acidentes ou taxa de acidentes e fatores explicativos, como características socioeconômicas, uso do solo, demografia e rede, são então estabelecidas em uma unidade espacial definida.

O tratamento dos dados relacionados aos acidentes, após sua consolidação por posição geográfica, com o uso da ferramenta GIS permite:

- Detectar os pontos de maior concentração de certo tipo de lesão ou morte;
- Identificar os fatores relacionados aos atropelamentos com aspectos pessoais e ambientais; e
- Coletar os resultados de forma a permitir aos analistas as ações a serem implementadas para a prevenção de lesões a populações específicas e de fatores ambientais.

Embora seu trabalho de investigação tenha sido focado nos acidentes entre pedestres e veículos, na cidade de Atlanta, EUA, a metodologia pode ser aplicada a outras regiões e outros tipos de eventos (por exemplo, acidentes de automóvel) para a melhoria da segurança do trânsito (DAI, 2012). O emprego da ferramenta GIS tem sido bastante utilizada para visualização de dados de acidentes e análise de pontos de sua maior

incidência (*locais críticos*) por inúmeras agências de controle tráfego (PRASANNAKUMAR, 2011).

Muitas Secretarias Estaduais de Transporte estão cientes da importância de ter um mapa abrangente de acidentes, já que é um componente crítico do gerenciamento de dados de segurança em planos estratégicos de segurança nas estradas (QIN *et al.*, 2013).

Desde que haja uma base de dados geocodificados, é possível o desenvolvimento de um aplicativo para o acompanhamento de acidentes e segurança viária para tratar os dados de todas as estradas de forma igual, independentemente do concessionário, aborda as principais áreas de ênfase de segurança:

- Melhora os dados e sistema de apoio à decisão, e
- Cria um sistema de gestão de processos de decisão / segurança mais eficaz. Ambos se beneficiariam muito com uma ferramenta de mapeamento automatizado de acidentes (QIN *et al.*, 2013).

Dados geocodificados sobre acidentes oferecem rápida visualização de sua localização em um mapa, tornando-se, portanto, um recurso extremamente informativo para pesquisadores e engenheiros para identificar padrões (WONGSUPHASAWAT *et al.*, 2009). ZAHARAN *et al.* (2011) desenvolveram algoritmos para processar automaticamente os dados geoespaciais da rede rodoviária sem a necessidade de digitalização.

A análise exploratória dos dados costuma ser empregada antes da modelagem estatística com a finalidade de conhecer melhor as variáveis resposta e explicativas, podendo ser não espaciais e espaciais. Nas não espaciais, geram-se gráficos e estatísticas das variáveis tais como *boxplots* e histogramas (muito importantes para a verificação da normalidade das variáveis do modelo). Nas análises exploratórias espaciais, buscam-se encontrar padrões e relacionamentos espaciais na variável de interesse, por meio de mapas e índices (ROCHA e NASSI, 2012).

A estatística espacial é uma das vertentes principais da análise que fornece a capacidade de estabelecer critérios quantitativos de agrupamento ou dispersão dos dados espaciais, determinando o grau de dependência espacial entre as observações. Surgiu da necessidade de definir o relacionamento de um conjunto de geodados e considera explicitamente as coordenadas dos dados no processo de coleta, descrição ou análise. A correlação espacial pode ser entendida como a tendência a que o valor de uma ou mais variáveis associadas a uma determinada localização assemelhe-se mais aos valores de suas observações vizinhas do que ao restante das localizações do conjunto amostral. Ela também pode ser

denominada auto correlação. Se a ocorrência de um dado evento influencia para que outros semelhantes aconteçam ao seu redor tem-se autocorrelação positiva, ou atração, o que implica em uma distribuição aglomerada de eventos. Se a ocorrência deste mesmo evento dificulta ou impede a ocorrência de outros em seu entorno tem-se autocorrelação negativa, ou repulsão, resultando em uma distribuição equidistante dos eventos (QUEIROZ *et al.*, 2003).

Estatísticas de autocorrelação espacial global possuem como objetivo caracterizar a dependência espacial mostrando como os valores estão correlacionados no espaço, fornecendo uma medida geral da associação espacial. O índice global de Moran (I) é um dos indicadores que realizam esta função, sendo calculado pela seguinte expressão:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S_0 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

Em que: n = quantidade de áreas;  
 $x_i$  = valor do atributo no local i;  
 $\bar{x}$  = média de todos os atributos;  
 $x_j$  = valor do atributo dos vizinhos do local i;  
 $w_{ij}$  = pesos atribuídos conforme a relação topológica entre os locais i e j; e  
 $S_0$  = soma de todos  $w_{ij}$

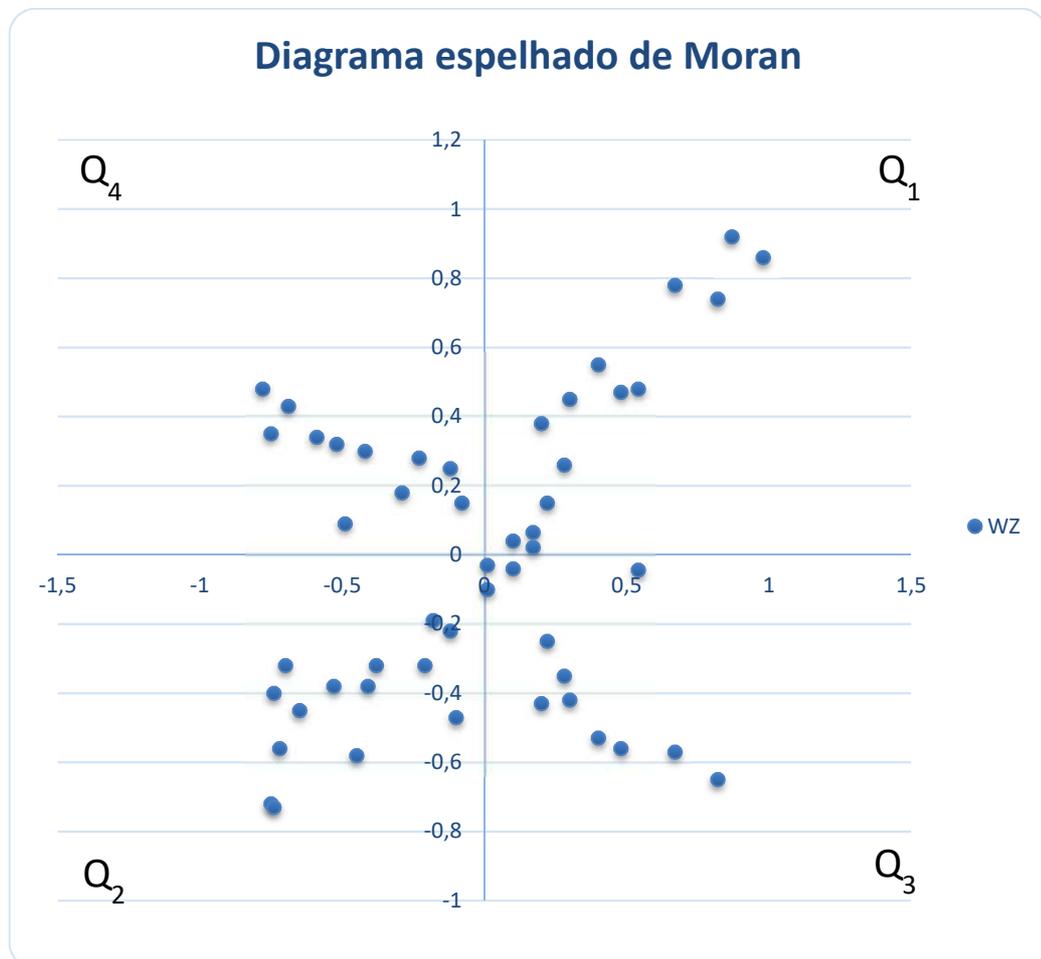
Onde:

$$(S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}) \quad (2)$$

Estatísticas de autocorrelação espacial de Moran foram utilizadas para determinar padrões de agrupamento estatisticamente significativos dos atropelamentos envolvendo crianças em áreas críticas selecionadas, com base na localização de proximidade e semelhanças de atributos (BLAZQUEZ, 2013). Este índice compara a distribuição observada do atributo em relação à distribuição esperada num padrão aleatório. De uma forma geral, embora isto não seja estritamente verdadeiro, este índice tende a ter valores entre -1 e +1, quantificando o grau de autocorrelação existente, sendo positivo para correlação direta e negativo quando inversa (QUEIROZ *et al.*, 2003). Valores próximos de zero indicam a inexistência de autocorrelação espacial significativa entre os valores dos objetos e seus vizinhos.

O diagrama de espalhamento de Moran foi proposto por ANSELIN em 1992, para comparar os valores normalizados do atributo numa área com a média dos valores normalizados dos seus vizinhos, construindo um gráfico bidimensional de Z (valores

normalizados) por WZ (média dos vizinhos), com a finalidade de visualizar a dependência espacial e indicar os diferentes regimes espaciais presentes nos dados. O diagrama é dividido em quatro quadrantes (Figura 3.2).



**Figura 3-1 – Diagrama Espelhado de Moran. Adaptado pelo autor**

A Figura 3.2 permite elaborar as seguintes análises:

- Q<sub>1</sub> é um quadrante que consolida os valores positivos e médias positivas;
- Q<sub>2</sub> é um quadrante que consolida valores negativos e médias negativas.

Ambos representam setores de associação espacial positiva, haja vista que representam locais com vizinhança com pontuação semelhante.

- Q<sub>4</sub> é um quadrante de valores negativos e médias positivas; e
- Q<sub>3</sub> é um quadrante de valores positivos e médias negativas.

De forma contrária à anterior, representam setores de associação espacial negativa, pois representam locais com vizinhança com pontuação distinta (QUEIROZ *et al.* 2003).

A técnica utilizada consiste numa análise exploratória que permite a distribuição temporal de acidentes reduzindo a variância entre as classes (subdividindo os dados de acordo com o tempo de ocorrência). Em seguida, os diferentes grupos são analisados usando certos níveis de identificação, diferente do padrão espacial de ferramentas de informação espaciais e temporais detalhados como o Kernel Density Estimation (KDE). Os resultados podem ser representados em um mapa, um único diagrama, ou mapas sequencialmente organizados com o uso do modelo zoom, exibindo uma sequência de camadas de forma gradual. Assim, pode ser usada para identificar como as várias técnicas de *zoom* espaciais podem se concentrar em informações de distribuição de taxas de acidentes em função de variação das horas (PLU, 2011).

KDE é um método não paramétrico que envolve a introdução de uma superfície simétrica, sobre cada ponto de recurso, avaliando a distância de cada ponto para uma posição de referência com base em uma função matemática, e, subsequentemente, adicionando o valor de todas as superfícies para uma localização de referência (Levine, 2004). A Equação (3) define o cálculo do KDE para um determinado conjunto de observações onde é ignorada a função densidade de probabilidade  $f$ :

$$f(x) = \left(\frac{1}{nh}\right) \sum_{i=1}^n \frac{K(x-x_i)}{h} \quad (3)$$

Em que:

$x$  é uma variável exploratória  
 $x_i$  é o valor da variável  $x$  no local  $i$ ,  
 $n$  é o número total de locais,  
 $h$  é a largura de banda ou parâmetro de alisamento,  
 $K$  é a função de núcleo.

A aplicabilidade destes fundamentos nesta pesquisa foi feita através do uso da Ferramenta Mapa de Calor, disponível no *software* QuantumGIS®, que aplica distribuição normal em função do Kernel estabelecendo uma ponderação de todos os pontos da área do estudo, atribuindo um maior peso para os pontos mais próximos e menor peso aos mais distantes. Uma metodologia de trato dos dados é pela identificação de valores extremos (*outliers*), ou seja, localizar pontos no diagrama de Moran que são extremos em relação à tendência central, refletida pela inclinação da reta de regressão.

Os indicadores locais produzem um valor específico para cada área, permitindo a identificação de agrupamentos (*clusters*), dos valores extremos (*outliers*) e a existência

de vários regimes espaciais, que não são identificados pelo cálculo dos indicadores de associação espacial global.

Dentre os indicadores mais difundidos está o índice local de Moran, que é representado pela equação 1. A autocorrelação do índice local de Moran é calculada a partir do produto dos desvios em relação à média, como uma medida de covariância. Dessa forma, valores significativamente altos indicam altas probabilidades de que haja locais de associação espacial, tanto de polígonos com altos, como com baixos valores associados. Por outro lado, baixos valores apontam para um padrão que pode ser entendido como locais de comportamento mais errático da variável observada entre um polígono e seus vizinhos (QUEIROZ *et al.*, 2003).

Segundo SIPOS (2017) se o valor do índice de Moran pode estar no intervalo  $[-1; 1]$ , a sua distribuição é desconhecida, com base exclusivamente neste valor, e a extensão da autocorrelação no caso da distribuição espacial dos acidentes não pode ser determinada. Pois neste caso, com diferentes níveis de distribuição espacial, diferentes níveis de autocorrelação espacial podem ser indicados pelo valor  $I$ . Do mesmo modo, a distribuição dos valores de  $I$  também pode ser influenciada pelos dados básicos. Assim, a distribuição determinada (estimada) pelo método de Monte Carlo também é necessária para poder determinar a autocorrelação espacial com o uso de valores de concentração específicos. Uma vez determinada a significância estatística deste índice é útil elaborar um mapa indicando as regiões que apresentam correlação local significativamente diferente do resto dos dados. Estas regiões podem ser vistas como bolsões de homogeneidade, no caso regiões de concentração de valores elevados dos atributos e regiões com valores reduzidos dos atributos, separadas por uma região de transição que não indica uma coisa nem outra. Essas áreas possuem dinâmica espacial própria e merecem análise detalhada. Este mapa é chamado de Lisa Map e, na sua geração, os valores do índice local de Moran são classificados em quatro grupos: não significantes (valor zero na legenda), com significância de 95% (classe 1), 99% (classe 2) e 99,9% (classe 3).

O Índice de Moran  $I$  é equivalente ao coeficiente de regressão linear que indica a inclinação da reta de regressão  $WZ$  (média dos vizinhos) em  $Z$  (valores normalizados). O diagrama de espalhamento de Moran também pode ser representado na forma de um mapa temático bidimensional no qual cada polígono é apresentado indicando-se seu quadrante no diagrama de espelhamento (CÂMARA, 2002).

Valores obtidos, lançados sobre um mapa associando-os aos índices de concentração de determinados tipos de acidentes, agrupados por curvas térmicas (*locais críticos*), durante

os horários do nascer ao pôr do sol permitiram identificar como críticos os arredores de escolas e lugares religiosos (igrejas, templos, etc.) (PRASANNAKUMAR, 2011).

### 3.2 Os fatores relacionados aos acidentes

Segundo ELVIK (2008), uma forma de se comparar diferentes índices de concentração de acidentes pode ser obtida através da associação com fatores relacionados à via como por exemplo: sua extensão, distribuição de semáforos.

PEI *et al.* (2011) concluíram que o total de acidentes com mortos ou gravemente feridos (Killed or Seriously Injured - KSI) e o total de acidentes aumentavam de forma proporcional ao volume de tráfego.

GREGORIADES E MOUSKOS (2013), a partir de estimativas de condições de fluxo de tráfego, por trecho de estrada, integrados com registros históricos de dados de acidentes, criaram uma base de um conjunto de dados para o desenvolvimento do modelo para estimar o risco de acidente. Essa metodologia contribuiu para a normalização das taxas de acidentes que poderiam ocorrer em trechos de estrada, locais com volumes de tráfego semelhantes, com o objetivo de permitir que as agências de transporte projetem sua rede a curto ou a longo prazo, de modo a reduzir a ocorrência de acidentes.

OH HOON *et al.* (2013) definiram que o VDMA medido em locais esporádicos ao longo de uma autoestrada permanecem constantes dentro de um segmento. KONONOV (2003) demonstrou que a utilização de um valor constante do VDMA, pode ser controversa, especialmente em segmentos onde existem aclives. OH HOON *et al.* (2013) ressaltam que podem haver diferenças entre os percentuais no volume de tráfego relatado por dia, dependendo do tipo de detectores usados, mesmo que os dados sejam recolhidos no mesmo tempo e local. CHUNG *et al.* (2007) afirmam que o VDMA pode sofrer a grande variação se a amostra for reduzida e conter erros de medição.

Segundo MA, L. *et al.* (2016) o comprimento do segmento e o VDMA são componentes utilizados para medir as milhas do veículo percorridas de cada segmento rodoviário. Para os segmentos rodoviários onde ocorreram acidentes durante o período de seu estudo, as milhas viajadas do veículo foi um indicador efetivo para a quantidade de exposição no denominador ao calcular as taxas de equivalência dos danos de um acidente.

GREGORIADES E MOUSKOS (2013), em sua metodologia, definiram os segmentos de estradas, como propensos a acidentes, se a probabilidade da ocorrência de um tipo de

acidente, for superior a um valor limite pré-especificado. Em seu trabalho foi dado maior peso aos acidentes com morto do que os com vítimas e sem vítimas, segundo os autores isto teria resultado num aumento dos indicadores de severidade em números absolutos.

PEI *et al.* (2011) demonstraram em seu estudo sobre as estradas na área de Kowloon (Hong Kong) que, pelo fato de serem estreitas e altamente congestionadas, é comum o desenvolvimento de atividades comerciais nos seus limites. Isto resulta num maior risco de conflito de tráfego que se transforma em uma elevada ocorrência de acidentes. KIM e YAMASHITA (2002) e EL-BASYOUNY e SAYED (2009) encontraram um relacionamento entre as características do risco de acidente e o uso do solo. Estes estudos apontam a relevância da proximidade de áreas urbanas na interferência não somente no incremento do número de acidentes, mas, principalmente, nos indicadores de severidade. OKABE *et al.* (2006) desenvolveu uma ferramenta baseada em sistemas de informação geográfica (GIS), denominada SANET (*Spatial Analysis on a NETWORK*), que é projetada para analisar fenômenos espaciais que ocorrem em redes (denominados fenômenos espaciais da rede). A SANET pode lidar com dois tipos de fenômenos. O primeiro tipo é uma classe de fenômenos que ocorre em uma rede (ou seja, localizada fisicamente em uma rede). Um exemplo típico é o acidente de trânsito. Na literatura, os fenômenos espaciais da rede geralmente são analisados por métodos espaciais, assumindo que: o mundo real é representado por um plano, eventos ou instalações são representados por pontos no plano e a distância entre dois pontos é medida pela distância euclidiana. Se aplicarmos métodos espaciais planos a fenômenos espaciais de rede, é provável que obtenhamos conclusões falsas.

OH HOON *et al.* (2013), em seu trabalho, utilizaram dados de colisões e VDMA, no trânsito ao longo de 663 milhas de autoestradas, no período de 2004 a 2008. Os valores dos parâmetros foram estimados para cada um dos grupos de estradas usando modelo de regressão.

SHEN *et al.* (2012) argumentam sobre o potencial da análise de risco como uma contribuição poderosa para o desenvolvimento de estratégias e programas eficazes para a prevenção do impacto e redução da sinistralidade, e para a definição de metas de segurança rodoviária (por exemplo, redução do número de vítimas fatais).

Segundo CHUNG *et al.* (2007), a grande maioria das abordagens para o levantamento de locais com alta concentração de colisão em rodovias apenas detectam locais críticos, depois que o número de colisões observadas ultrapassa um determinado limite. Tais abordagens não identificam de forma proativa locais onde a segurança está gradualmente

se deteriorando devido a alterações adversas que ocorrem ao longo do tempo, tais como: perda de qualidade do pavimento, crescimento de vegetação obstruindo a visão à distância, limitações ao fluxo que podem levar a problemas de segurança, em especial, em locais onde existem aclives e declives, existência de baias para retorno de veículos, e influências negativas de mudanças no uso do solo em áreas limítrofes às vias (ocupação urbana).

DOZZA *et al.* (2013) propõem que para a análise seja feita uma divisão dos conjuntos de dados em segmentos elementares equivalentes, para facilitar o cálculo robusto e consistente de parâmetros. Isso aumenta o poder de uma análise estatística.

PARK e SAHIJI (2013) reconheceram que pode ser ingenuidade supor que o volume de tráfego é mais homogêneo em locais dentro de uma mesma classificação, estradas, por exemplo. Os autores acreditam que seria interessante e útil para futuros estudos investigar o impacto do VDMA por diferentes faixas de rolamento, para locais com tráfego urbano onde o VDMA é conhecido e onde ele varia consideravelmente.

PEI *et al.* (2011) analisaram que a frequência de acidentes com mortos ou gravemente feridos atinge o valor máximo e começa a diminuir quando o volume total de tráfego ultrapassa 60.000 veículos por dia. O mesmo estudo demonstra que a proporção de acidentes com maiores índices de severidade, diminui na ordem inversa ao volume de tráfego, haja vista a redução do risco de mortalidade e lesões graves em consequência da menor velocidade do tráfego e consequentemente da menor energia liberada nos acidentes colisões em condições de tráfego pesado. Esta análise se mostra consistente com trabalhos anteriores apresentados por MOUNTAIN *et al.* (1996); e QIN *et al.*, (2004 e 2006). FRIDSTRØM *et al.* (1995) demonstraram que a frequência dos acidentes fatais aumenta a uma taxa menor do que a de total de acidentes de trânsito associados a aumentos de volume.

MA, L. *et al.* (2016) concluíram que os segmentos rodoviários com altos volumes de tráfego tendem a ter baixas taxas de acidentes e que, maiores volumes de tráfego geralmente levam a acidentes menos graves devido à menor velocidade do veículo.

MIAUO e LUM (1993) investigaram as propriedades estatísticas dos dois modelos convencionais de regressão linear e identificaram possíveis limitações destes modelos no desenvolvimento de relacionamentos entre acidentes com veículos e o projeto geométrico das rodovias. ACKAAH e SALIFU (2011) consideraram insatisfatória a propriedade da utilização de modelos de regressão linear comuns no desenho do relacionamento entre os acidentes de veículos, o fluxo de tráfego e a traçado das rodovias.

HEYDARI *et al.* (2017) aplicaram um modelo a um conjunto de dados de impacto para pedestres / ciclistas, incluindo 647 cruzamentos sinalizados em Montreal. A lesão de pedestres e ciclistas modelada resultaram em uma combinação de variáveis que capturam os efeitos de fatores não observados, além dos efeitos das variáveis exógenas. Como resultado eles demonstram que uma modelagem conjunta não restritiva de ferimentos para pedestres e ciclistas, melhora a compreensão coletiva da segurança dos vulneráveis em uma estrada. Ao final, descobriram que a mistura flexível proposta de normais multivariadas melhoram substancialmente o desempenho preditivo do modelo. As estimativas mais urgentes deste estudo podem ser úteis para decisões políticas, tais como o planejamento de programas de melhoria de segurança para pedestres e ciclistas em interseções sinalizadas, particularmente, em áreas urbanas. Uma condição de segurança aprimorada ajudaria então a promover modos de transporte ativos.

Segundo ELVIK (2008), um primeiro critério para a identificação de áreas com alto risco de acidentes, seria aquele definido a partir do número de acidentes esperados a partir das características dos locais.

MA, L. *et al.* (2016) observaram que melhores condições de pavimento produzirão taxas menores de equivalência dos danos de um acidente (EPDO). Uma das possíveis razões é que as pessoas podem dirigir mais rápido e prestar menos atenção quando há boas condições de pavimento. No entanto, este dado isolado pode não ser conclusivo, haja vista que piores condições do pavimento podem produzir acidentes mais graves e, conseqüentemente, levar a uma maior taxa de EPDO.

Segundo SIPOS (2017) uma função de desempenho de segurança por definição (SPF) é uma equação para prever o número de mortes por ano em um determinado local, em função das características da estrada ou interseção (por exemplo, número de pistas, controle de tráfego, etc.). Matematicamente, é um modelo que pode fornecer estimativas sobre os eventos de acidentes em determinadas seções rodoviárias. Alguns parâmetros da seção rodoviária e do tráfego (por exemplo: número de faixas, largura da faixa, raio da curva, volume e composição do tráfego) são os dados a equação. A frequência esperada de acidentes o resultado. Assim, diferentes SPFs podem ser atribuídos a diferentes segmentos rodoviários.

ACKAA e SALIFU (2011) realizaram estudos a partir do uso das variáveis para cálculo de predição da quantidade de acidentes esperados a partir da associação dos volumes de tráfego (VDMA) à extensão dos trechos analisados. Matematicamente:

$$\ln[E(Y)] = \ln(a_0) + a_1 \ln(L) + a_2 \ln(Q) + \sum_j b_j x_j \quad (4)$$

Em que: E(Y) = Frequência prevista de acidentes  
L = Comprimento do trecho (km)  
Q = VDMA  
x<sub>j</sub> = Representa o trecho de rodovia  
a<sub>0</sub>, a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, b<sub>i</sub> = Coeficientes da regressão

Esta proposta de abordagem será testada com adaptações e ajustes de forma a tornar a exequível o tratamento dos dados brasileiros. Neste estudo pretende-se agregar além dos aspectos citados, a análise das influências de fatores como: volume de tráfego por faixa e a extensão urbana e rural do trecho de forma a se estabelecer um parâmetro de análise que estude as características dos trechos de maior incidência dos acidentes.

MA. L. *et al.* (2016) ao estudar os pesos a serem considerados para medir as taxas de equivalência dos danos de um acidente (EPDO) considerou uma relação dos custos associados para cada gravidade de acidente: 4,111,956.00, 144,291.00 e 6,783.00 dólares para acidentes "fatais", "feridos" e "sem prejuízo", respectivamente. As magnitudes relativas de 606,5, 21,3 e 1 são, portanto, adotadas como fatores de equivalência.

Na presente tese no tocante ao tratamento das informações relacionadas à gravidade dos acidentes, será considerada a metodologia instituída pelo DNIT/UFSC (2009) que permite quantificar acidentes através de uma Unidade Padrão de Severidade (UPS), com a finalidade de considerar a ponderação dos acidentes em função de sua gravidade. A Equação 5 apresenta o cálculo da UPS, segundo DNIT/UFSC (2009).

$$UPS_n = A.S.V_n + (A.C.V_n * 5) + (A.C.O_n * 13) \quad (5)$$

Em que: UPS<sub>n</sub> = Unidade Padrão de Severidade dos acidentes ocorridos no trecho n da rodovia em análise;  
A.S.V<sub>n</sub> = Quantidade de acidentes sem vítimas ocorridos no trecho analisado;  
A.C.V<sub>n</sub> = Quantidade de acidentes com feridos ocorridos no trecho analisado; e  
A.C.O<sub>n</sub> = Quantidade de acidentes com mortos ocorridos no trecho analisado.

Segundo o DNIT/UFSC (2009), esta metodologia apresenta como vantagem a neutralização da influência do volume veicular no nível de acidentes já que, locais com elevados volumes de tráfego tendem a possuir maior número de acidentes. Os pesos para o cálculo da UPS foram definidos com base no custo de cada categoria de acidente a partir de um estudo desenvolvido em rodovias pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), atual DNIT, no ano de 1980, (BERTRAZZO *et al.* 2002).

Segundo AMOH-GYIMAH *et al.* (2017) um acidente é fatal quando resulta na morte de pelo menos uma pessoa dentro de 30 dias após o acidente. O acidente / lesão grave é definido como quando pelo menos uma pessoa envolvida no acidente é enviada para um

hospital ou possivelmente admitida em um hospital. O acidente ou lesão menor ou menor é definido como lesão que normalmente requer tratamento médico para problemas como contusões, contusões, inconsciência, dor, etc.

Segundo SCHEPPEERS *et al.* (2013), riscos de acidentes são o resultado da interação entre três elementos, algumas vezes tratados como “os três pilares da segurança de tráfego”: 1 – os usuários da via; 2 – os veículos; e 3 – a infraestrutura. De forma similar aos epidemiologistas que utilizam os termos hospedeiro, agente e ambiente.

Segundo GOLOB e RECKER (2002) *apud* THOMAS e WILFRED (2002), os fatores relacionados ao ambiente nos acidentes podem ser classificados em função de situações de fluxo de tráfego, definidos por modelos estatísticos com combinações específicas de tendência central e as variações temporais. As técnicas de análise aqui utilizadas são pouco convencionais para este tipo de estudo.

Em lugar de partir de um alicerce de princípios e conceitos básicos de engenharia de tráfego, estudou-se o problema como sendo essencialmente uma análise de dados, fundamentada em técnicas estatísticas para ajudar a revelar a estrutura dos fenômenos subjacentes.

O trabalho se conclui com o estabelecimento, por parte dos autores, do relacionamento das características dos acidentes às condições de tráfego e horário de sua ocorrência.

Segundo HAI *et al.* (2012) é possível criar uma forma complementar à visão tradicional da relação entre os limites de velocidade e taxa de fatalidade, incorporando ainda informações relacionadas ao consumo de combustível e/ou emissão de poluentes do veículo em uma área urbana. Foram examinados os efeitos em toda a rede, a possibilidade de realocação do tráfego e alterações nos limites de velocidade, utilizando uma abordagem de equilíbrio de tráfego a nível macroscópico.

Na ideia formulada pelos autores, é oportuno entender a importância da correlação dos fatores de análise e revisão de limites de velocidade ajustados ao volume do tráfego, específicos de um corredor em um certo horário, especialmente em vias urbanas. Isto pode conduzir a uma redução no nível de emissões do veículo e do tempo de viagem em toda a rede. O que já seria extremamente relevante sob o aspecto de redução dos acidentes, adquire um aspecto complementar de redução de congestionamentos e da emissão de poluentes.

Segundo Paixão *et al.* (2015) a redução do número de Acidentes de Trânsito (AT) em relação à frota veicular verificada em Belo Horizonte também foi observada em Campinas, e foi atribuída à lentidão do trânsito urbano em decorrência do aumento da

frota. A análise isolada desse indicador deve ser evitada, por não traduzir efetiva redução no risco de lesão e morte. Ainda que o aumento dos acidentes não tenha guardado proporção com o incremento da frota veicular, a magnitude do agravo revelou-se pela elevação anual do número de acidentes com vítimas e de internados, o que o coloca como um dos principais problemas de saúde pública local, como nas demais cidades do Brasil. Além disso, os coeficientes de mortalidade por AT estimados para a cidade são elevados, indicando necessidade de intervenções eficazes para alcançar redução sustentável desses índices aprimoramento da legislação, implantação do controle municipal do trânsito, melhoria da segurança dos veículos e uso da fiscalização eletrônica, não foi observada redução nos acidentes, mortes e incapacidades decorrentes das lesões.

DAI (2012) sugere uma forma de tratamento de dados relacionados aos acidentes fatais após sua consolidação por posição geográfica com o uso da ferramenta GIS, segundo ele o primeiro passo é detectar pontos de maior concentração de um certo tipo de lesão ou morte. O segundo é identificar os aspectos pessoais e ambientais nos fatores relacionados aos atropelamentos. Os resultados permitem aos profissionais de prevenção de acidentes focarem em segmentos de populações específicas e de fatores ambientais. Embora esta investigação se concentre em acidentes entre pedestres e veículos em Atlanta, a metodologia pode ser aplicada a outras regiões e outros tipos de eventos (por exemplo, acidentes de automóvel) na busca por uma melhoria da segurança do trânsito.

Segundo SMULDERS (1990), o Sistema de Sinalização de Trânsito Holandês é equipado com um Algoritmo Incidente Automático de Detecção (AID), que tenta identificar perturbações graves no fluxo de tráfego o mais rapidamente possível e gera automaticamente um conjunto adequado de mudanças na sinalização sobre limites de velocidade para o tráfego próximo.

Segundo esse autor, este conjunto de variáveis permite a busca por uma solução compatível com o modelo utilizado pela Lógica Fuzzy, permitindo, de alguma forma, demonstrar a influência psicológica sobre o condutor das ações externas introduzidas sobre os limites de velocidade, através por exemplo, de uma Central de Controle de Tráfego.

Percebe-se, portanto, que os Setores que hoje fazem uso de Centrais de Monitoramento de Tráfego preocupam-se tão somente com aspectos ligados à fluidez do tráfego e à redução de congestionamentos nos grandes centros urbanos.

Ao se construir um banco de dados para ser utilizado na análise de acidentes rodoviários é importante avaliar o tipo de dados coletados e o potencial de impacto nas análises

pretendidas dos acidentes. Portanto, julga-se relevante considerar não apenas os atributos dos próprios acidentes, mas também os dados ambientais e de uso do solo que são encontrados na vizinhança dos locais críticos (ANDERSON, 2009).

Segundo MA, L. *et al.* (2016) a localização (urbana / rural) dos segmentos rodoviários é significativa. Os segmentos urbanos são mais propensos a ter maiores taxas de EPDO do que os segmentos rurais. O número de pistas de uma estrada é uma variável comumente usada para contagens de acidentes em estudos existentes. Neste estudo, os segmentos rodoviários com mais de duas pistas são definidos como a categoria de referência. Segmentos rodoviários com mais de duas pistas são mais propensos a ter maiores taxas de EPDO do que as estradas com menos pistas se outras condições continuarem a ser as mesmas.

O sistema de informação do trânsito permitiu a caracterização do acidente e incluiu informações dos envolvidos nos Acidentes de Trânsito (AT): identificação das vítimas, com ferimentos ou fatais, sua descrição por sexo e idade e características do condutor. Esses campos apresentaram 93% de preenchimento. Apesar de ser a única fonte para variáveis importantes na identificação de fatores associados aos acidentes (uso de equipamentos de segurança, de bebida alcoólica pelo condutor, condições da via e de sinalização e tipo de habilitação do condutor), verificou-se baixa completude no preenchimento desses campos, limitando essa análise. Constatou-se ausência de dados para avaliação socioeconômica e de residência dos envolvidos e sobre a gravidade da lesão, limitando-se ao registro da morte ocorrida no local ou nas primeiras horas após o acidente. Os sistemas de informação de internação e mortalidade apresentaram dados mais completos sobre as características das vítimas, sendo que variáveis para análise socioeconômica (escolaridade e raça/cor da pele) só estavam adequadamente disponíveis no Sistema de Informação de Mortalidade (SIM) e apresentaram altos percentuais de completude (acima de 96%). A completude do preenchimento das variáveis grau de instrução e ocupação no Sistema de Informações Hospitalares (SIH) foi insatisfatória (menos de 10%). Custo da internação, procedimentos e necessidade de terapia intensiva puderam estimar o impacto sobre os serviços de saúde no SIH. O uso de códigos (CID-10) menos específicos no diagnóstico secundário do SIH e na causa básica do SIM limitou a análise sobre as características do acidente. A falta dessas informações, ao não correlacionar a internação ou morte com o AT, subestima o número de vítimas ou dificulta a caracterização do acidente. No SIM, os registros sobre ocupação e acidentes de trabalho foram inadequadamente preenchidos. O endereço do local do acidente estava ausente em

80% dos registros de 2008 e 2009 e em 55% nos registros de 2010. O SIM permitiu identificar, também, os óbitos ocorridos na via pública e fora do município. Entre 2008 e 2010, ocorreram 48.918 AT com vítimas no perímetro urbano de Belo Horizonte, incluindo as rodovias que cruzam a cidade, resultando em 109.322 envolvidos e 61.959 vítimas, segundo o BH10. As 10.374 internações (SIH) e os 1.869 óbitos (SIM) corresponderam a acidentes ocorridos tanto no município como fora. As mortes ocorreram em via pública ou em estabelecimentos de saúde (Paixão *et al.*, 2015).

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 A concepção do sistema

O sistema proposto reuniu as informações obtidas junto à PRF (2010) a respeito de todos os acidentes ocorridos no Brasil, e rodovias federais, durante o ano de 2009.

Assim, foi construído um sistema nos seguintes conjuntos de *software*:

- Banco de dados Postgres<sup>®</sup> com extensão Postgis<sup>®</sup>;
- ARCGIS<sup>®</sup> e
- Software Quantum GIS<sup>®</sup> (QGIS<sup>®</sup>) versão 2.18

Para a montagem de uma base de dados confiável foram buscados, através de pesquisas no site do DNIT e solicitações ao setor de dados estatísticos da PRF, informações sobre os acidentes ocorridos entre o período de janeiro a dezembro de 2009.

Como ambas as séries de dados (a relacionada aos Volumes de Veículos, e a relacionada aos acidentes), só puderam ser obtidas em formato PDF<sup>®</sup> (*Portable Document Format*), isso obrigou que fossem convertidos individualmente em arquivos de texto, para em seguida serem ajustados para sua correta importação para o software MS-Excel<sup>®</sup>. Após a conversão para o MS-Excel<sup>®</sup>, os cerca de 185 mil registros de acidentes, dados foram consolidados em cerca de 2,1 mil trechos onde foram realizadas medições de VDMA, ou seja, o volume de veículos que transitam por cada trecho das rodovias avaliadas.

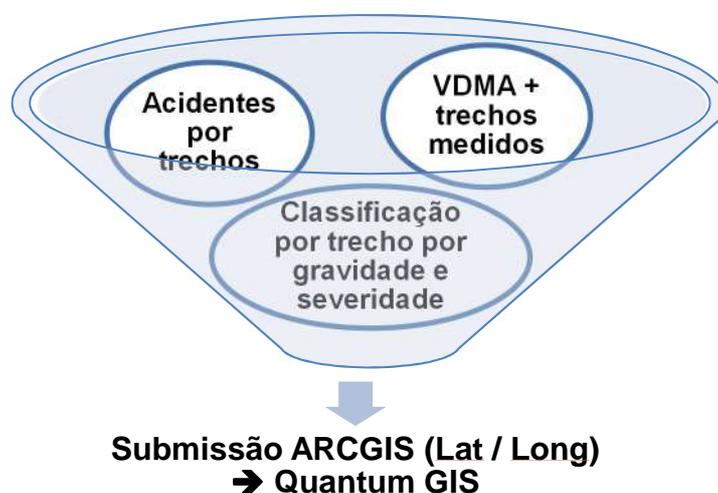
Foram criadas, portanto duas bases de dados sólidas, a primeira com os dados dos acidentes e a segunda com os dados de VDMA.

Em relação aos dados dos acidentes, foram consolidados em uma base única, agregando inclusive dados sobre os condutores e vítimas, e os dados sobre os veículos envolvidos nos acidentes, obtidos em outra base da PRF. Estas bases foram indexadas, associadas e passaram por algumas etapas de depuração, organização e tratamento. Inicialmente foram excluídos os registros redundantes, e aqueles com precariedade de informações que não permitissem obter os dados considerados como os mais relevantes para o estudo, como por exemplo, a posição GPS do local do acidente.

Aos dados do VDMA foram associados os dados consolidados da base anterior, compatíveis com os trechos medidos. Esta nova base passou então a consolidar a quantidade de acidentes por trechos a partir de sua classificação, para então serem calculados sua distribuição e sua severidade.

A partir deste ponto ambas as bases foram submetidas ao Software ARCGIS®, que viabilizou a conversão das informações de rodovia, quilômetro e sentido em coordenadas latitude e longitude não somente de cada um dos acidentes, mas principalmente dos dados consolidados dos acidentes nos trechos com medição do VDMA.

Em seguida foi utilizado o software QGIS® para posicionar os dados consolidados sobre os trechos de rodovias federais. Neste momento buscou-se pela utilização dos mapas disponibilizados pelo DNIT em seu site. O uso destes mapas se mostrou, em alguns trechos, totalmente incompatível com os trechos segmentados pelo próprio DNIT na montagem dos relatórios consolidando os VDMA e os acidentes registrados pela PRF.



**Figura 4-1 – Diagrama resumido do tratamento dos dados.**  
Fonte: autor

Isto obrigou um retrabalho de consolidação dos acidentes por trecho que consumiu cerca de três meses de trabalho contínuo. Concluídas estas atividades, uma nova base de dados foi gerada e coordenadas latitude e longitude, não somente de cada um dos cerca de 185 mil acidentes, mas principalmente dos dados consolidados dos acidentes nos trechos com medição do VDMA, associados com o total de acidentes, severidade em cada um dos cerca de 2,1 mil trechos.

A base de dados de acidentes criada, contém as seguintes informações:

- Código da Ocorrência;
- Rodovia;
- Unidade da Federação;
- Quilômetro onde ocorreu o acidente;
- Latitude do local;

- Longitude do local;
- Horário;
- Data;
- Município;
- Gravidade
  - Ignorado
  - Sem vítimas;
  - Com feridos; ou
  - Com morto.
- Uso do solo
  - Urbano, ou
  - Rural.

Como já comentado, após o trabalho de depuração e consolidação dos acidentes, com uso das seguintes informações extraídas da base de dados de VDMA:

- Posto de contagem;
- Rodovia;
- UF;
- Código do trecho;
- Referência inicial do trecho;
- Referência final do trecho;
- Quilômetro Inicial do trecho;
- Quilômetro final do trecho;
- Extensão
  - Urbana;
  - Rural; e
  - Total.
- VDMA;
- Número de faixas;

Assim, foram geradas as coordenadas exatas de localização dos acidentes que foram transpostos para o software QGIS® e permitiram a elaboração de mapas como, por exemplo, o apresentado na figura 4.2, a seguir.

Na figura 4.2 é apresentada a localização exata dos cerca de 185 mil acidentes ocorridos nas rodovias federais, durante todo o ano de 2009, segundo os relatórios da PRF. Apesar

de consolidar informações extremamente relevantes a forma de apresentação impede, por exemplo, entender onde estão os pontos com maior concentração dos acidentes, sua gravidade, a proximidade de um centro urbano ou não. Isso se deve à falta de proporcionalidade entre o tamanho do “ponto” utilizado para marcar o local do acidente e a escala utilizada pelo mapa, criando não só uma desproporcionalidade, mas tirando a precisão de localização do acidente desejável pelo uso desta ferramenta.

**Acidentes ocorridos nas rodovias federais brasileiras em 2009**

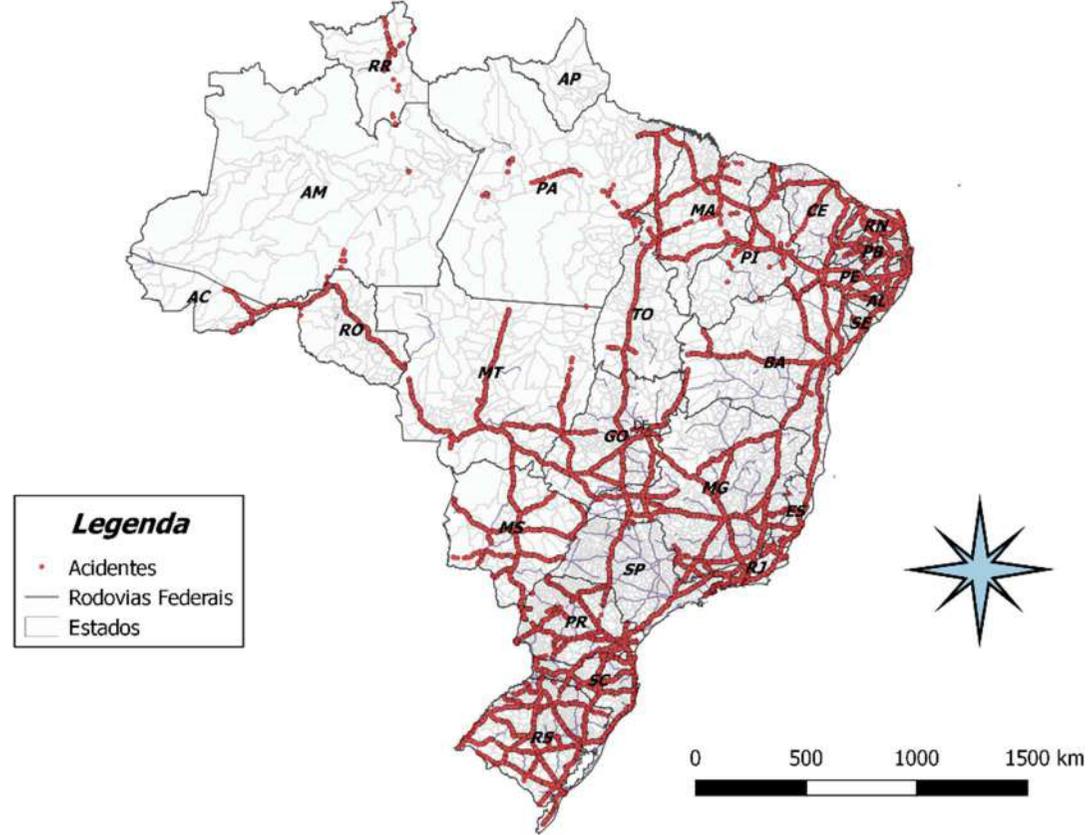


Figura 4-2 - Brasil, municípios e acidentes de trânsito ocorridos em rodovias federais, durante o ano de 2009.

Fonte PRF adaptado pelo autor

Na figura 4.2 é apresentada a localização exata dos cerca de 185 mil acidentes ocorridos nas rodovias federais, durante todo o ano de 2009, segundo os relatórios da PRF. Apesar de consolidar informações extremamente relevantes a forma de apresentação impede, por exemplo, entender onde estão os pontos com maior concentração dos acidentes, sua gravidade, a proximidade de um centro urbano ou não. Isso se deve à falta de proporcionalidade entre o tamanho do “ponto” utilizado para marcar o local do acidente e a escala utilizada pelo mapa, criando não só uma desproporcionalidade, mas tirando a precisão de localização do acidente desejável pelo uso desta ferramenta.

Para melhor análise e permitir melhor visualização e tratamento dos dados será feita a plotagem a partir do uso da ferramenta do mapa de calor. Mapa de calor é uma ferramenta de representação espacial de dados, que tem a finalidade de tornar evidentes os locais de maior concentração das ocorrências sem obscurecer as demais áreas.

Algumas ferramentas GIS tem sido utilizadas de forma bem-sucedida apesar da necessidade de sua integração com ferramentas amigáveis de tratamento e análise de dados (WONGSUPHASAWAT *et al.*, 2009). Identificar locais críticos de acidentes com a utilização de ferramentas GIS e agregar dados relevantes sobre os acidentes ocorridos nestas regiões é fundamental para permitir a alocação de recursos de segurança e garantir a redução de sua ocorrência (ANDERSON, 2009).

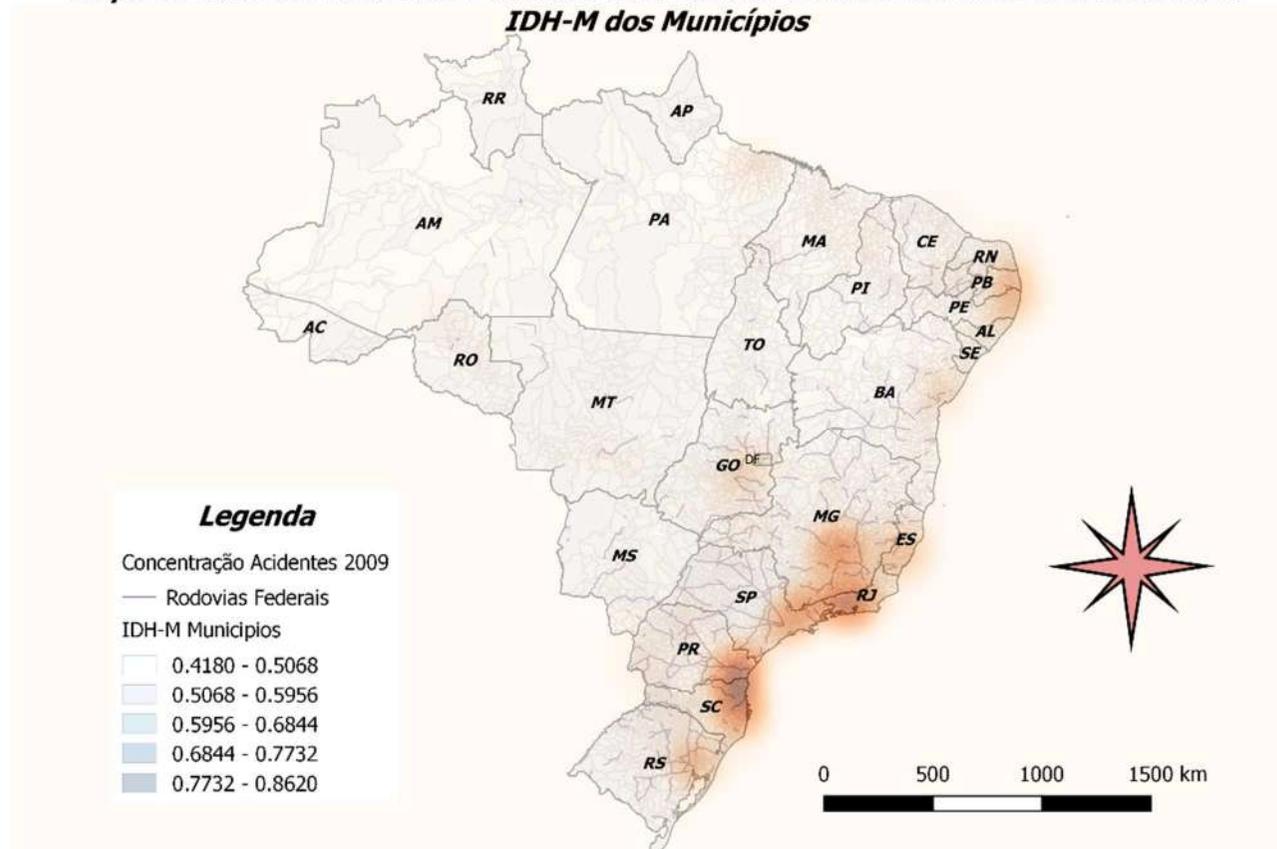
A análise dos locais críticos de acidentes rodoviários requer o entendimento dos processos relacionados à classificação da gravidade das lesões e do ambiente em torno do trecho da rodovia.

Plataformas GIS são particularmente adequadas para este tipo de análise pois permitem o uso de sistemas de georreferenciamento associados a diferentes níveis de agregação de dados, vinculando dados a partir de linhas de tempo e estatísticas de acidentes, criando condições para estimar os riscos de acidentes em posições e épocas diferentes, criando condições de estabelecer mecanismos de controle em uma miríade de fatores de risco que conjugadas explicam o acidente e a severidade das lesões. (STEENBERGHEN *et al.*, 2004).

Segundo ANDERSON (2009) as classificações dos locais críticos de acidentes rodoviários baseiam-se geralmente nos dados disponíveis relacionados ao registro do acidente (hora do dia, tipo de vítima, tipo de veículo). Isso muitas vezes pode limitar o alcance da compreensão da complexidade dos fatores relacionados a estes locais, negligenciando, por exemplo, um número de fatores ambientais, sociais e econômicos, ao se adotar uma coleta padrão de dados sobre os acidentes.

A figura 4.3 apresenta um mapa de calor dos acidentes rodoviários ocorridos nas rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, representando os locais críticos relacionados à maior concentração, a partir dos dados obtidos junto à PRF e DNIT, com a localização dos pontos de maior concentração de acidentes. A este mapa foram incorporados os dados de classificação dos municípios brasileiros pelo IDH-M (Índice de Desenvolvimento Humano – Médio), do ano de 2010, obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Apêndice C (IBGE, 2011) o que facilita associar visualmente as regiões de acidentes, com padrões socioeconômicos dos seus habitantes, permitindo identificar possíveis correlações entre os acidentes e os perfis de sua população.

**Mapa de calor dos acidentes ocorridos nas rodovias federais em 2009 associados aos IDH-M dos Municípios**



**Figura 4-3 - Mapa de calor de acidentes, associado com o IDH-M dos municípios brasileiros**

Fonte: IBGE, 2010. Adaptado pelo autor.

O uso da ferramenta mapa de calor, gerado a partir da aplicação das modelagens matemáticas de Kernel e do Índice de Moran, pelos *softwares* de GIS, permite a visualização da concentração de acidentes, em diferentes tons, onde as tonalidades mais escuras representam áreas de maior intensidade e as mais claras a de menor. Em relação ao IDH-M os tons mais claros representam os municípios com menores índices e os mais escuros os maiores.

Comparando-se as figuras 4.2 e 4.3 é notório que, embora representem os mesmos dados de acidentes, houve uma sensível melhoria, na capacidade de visualização dos pontos de maior concentração dos acidentes, que ocorrem nos arredores de algumas capitais de estados brasileiros, com o uso da ferramenta mapa de calor. Outro aspecto relevante é que pelo uso dos dados sobre o IDH-M é possível examinar se existe uma maior concentração destes pontos nas regiões de maior IDH-M, o que poderia sugerir uma associação direta, por exemplo da quantidade e/ou severidade dos acidentes com o perfil de renda e a maior concentração de pessoas além de uma maior circulação de veículos, o que sugere um maior detalhamento dos dados para verificar por exemplo a veracidade destes aspectos mencionados.

Valendo-se das informações da figura 4.3, pode-se sugerir um trecho de rodovia, onde deve haver um maior aprofundamento e análise dos fatores relacionados aos acidentes criando uma metodologia de tratamento continuado destes, com vistas à redução dessas ocorrências nestes trechos.

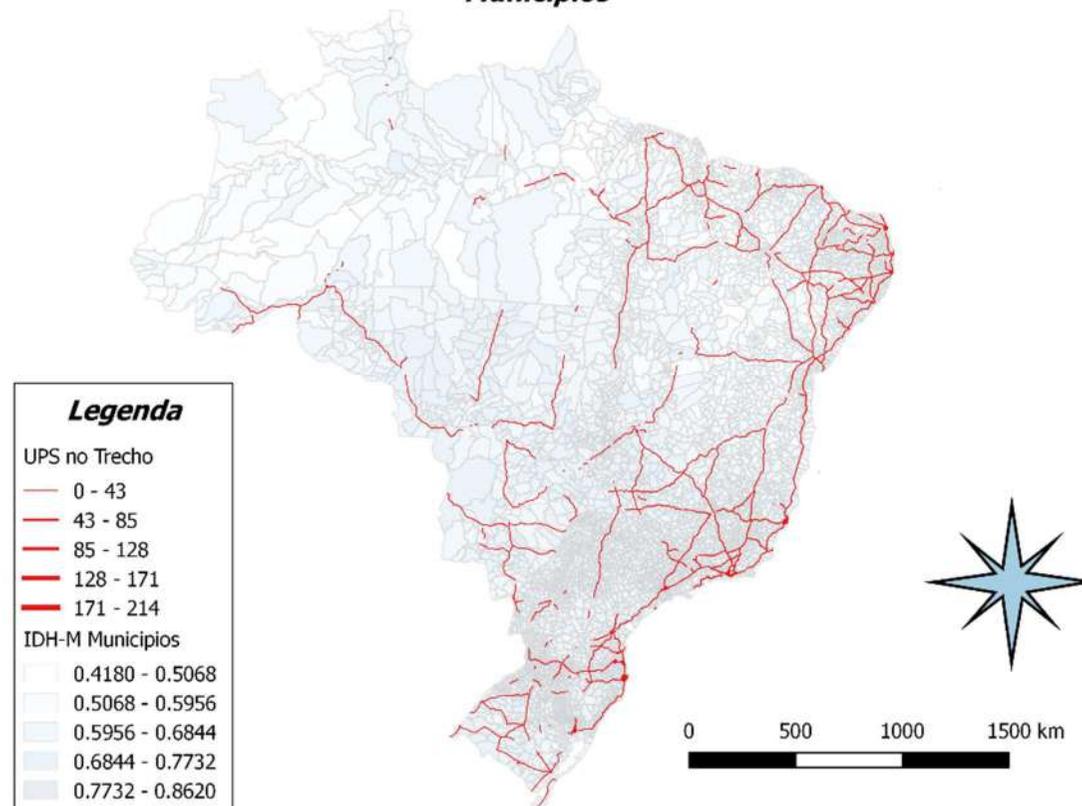
Para a elaboração do presente estudo a base de dados de acidentes foi consolidada por trecho de medição de VDMA, compatível com os trechos dos mapas rodoviários disponibilizados pelo DNIT, tendo sido criado, o arquivo que consolida as seguintes informações:

- Código do trecho da rodovia;
- Referência de início do trecho;
- Referência de termino do trecho
- Quilômetro inicial do trecho;
- Quilômetro final do trecho
- Extensão;
- Tipo de Superfície;
- VDMA;
- Número de faixas;

- VDMA por faixa;
- Quantidade de feridos no trecho;
- Quantidade de mortos no trecho;
- Quantidade de acidentes sem vítimas;
- Quantidade de acidentes com vítimas;
- Quantidade de acidentes com morto;
- Percentual urbano do trecho;
- Percentual rural do trecho;
- Total de acidentes no trecho;
- Total de acidentes por quilômetro;
- Unidade Padrão de Severidade de Acidentes no trecho (equação 5);
- Unidade Padrão de Severidade de Acidentes por quilômetro, no trecho.

A transcrição dos dados para sistemas GIS geraram os resultados apresentados na figura 4.4, que apresenta a classificação dos trechos a partir dos Índices de Severidade calculados.

**Severidade dos acidentes nos trechos com medição de VDMA associados ao IDH-M dos Municípios**



**Figura 4-4 - Brasil, trechos de rodovias classificados pelo Índice de Severidade dos acidentes ocorridos durante o ano de 2009.**

**Fonte (PRF, 2010) adaptado pelo autor**

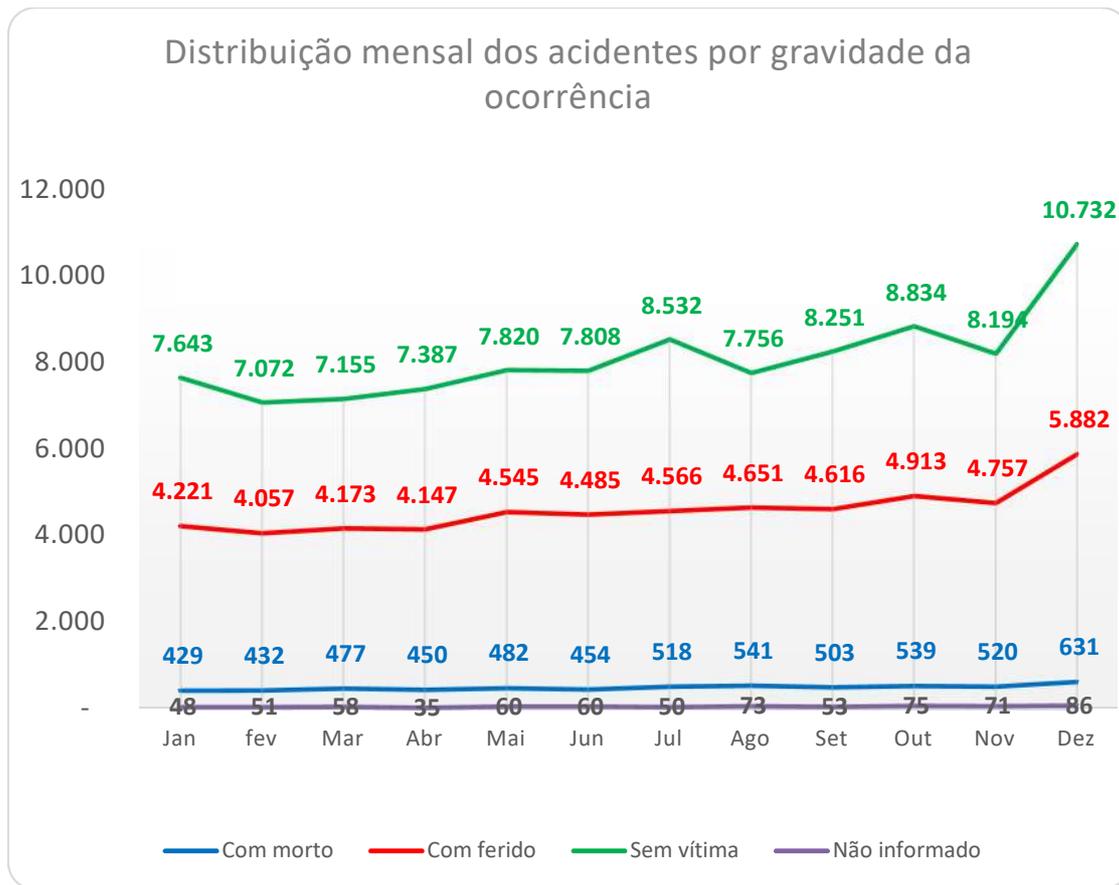
A figura acima permite uma nova oportunidade de se perceber a distribuição geográfica dos acidentes, desta vez o enfoque é o **índice de severidade**, calculado a partir da gravidade dos acidentes. Nesta figura é possível identificar trechos onde a severidade dos acidentes ocorridos é mais significativa o que também sugere uma análise detalhada dos fatores relacionados aos acidentes no trecho, com vistas a criar uma metodologia de tratamento dos fatores como forma a se evitar a repetição destas ocorrências no futuro.

#### **4.2 O tratamento de fatores relacionados aos acidentes em alguns países e as possibilidades de tratamento das informações**

O tratamento adequado dos dados sobre acidente, é ferramenta fundamental de análise e orientação de linhas de pesquisa visando o conhecimento dos fatores e principalmente o tratamento desses, com vistas a reduzir a incidência dos acidentes ou na pior hipótese reduzir sua gravidade.

Entende-se ser de extrema utilidade para um programa de conscientização da população o conhecimento dos acidentes mais comuns, sua localização, o conjunto de fatores atuantes em cada um desses locais, que poderiam convergir para pelo menos dois procedimentos distintos: atuação através de uma central de monitoramento de tráfego, na atenuação dos fatores para reduzir a ocorrência local de acidentes fatais; ou permitir ao poder público e segmentos específicos da iniciativa privada, como por exemplo as Companhias de Seguros, o desenvolvimento de campanhas de conscientização direcionadas a motoristas, pedestres e moradores que trafegam no entorno dos locais de maior ocorrência desse tipo de acidentes.

A figura 4.5 apresenta um resumo da distribuição mensal dos acidentes ocorridos em rodovias federais brasileiras, segundo dados obtidos na PRF (2010), durante o ano de 2009, classificados por gravidade da ocorrência.

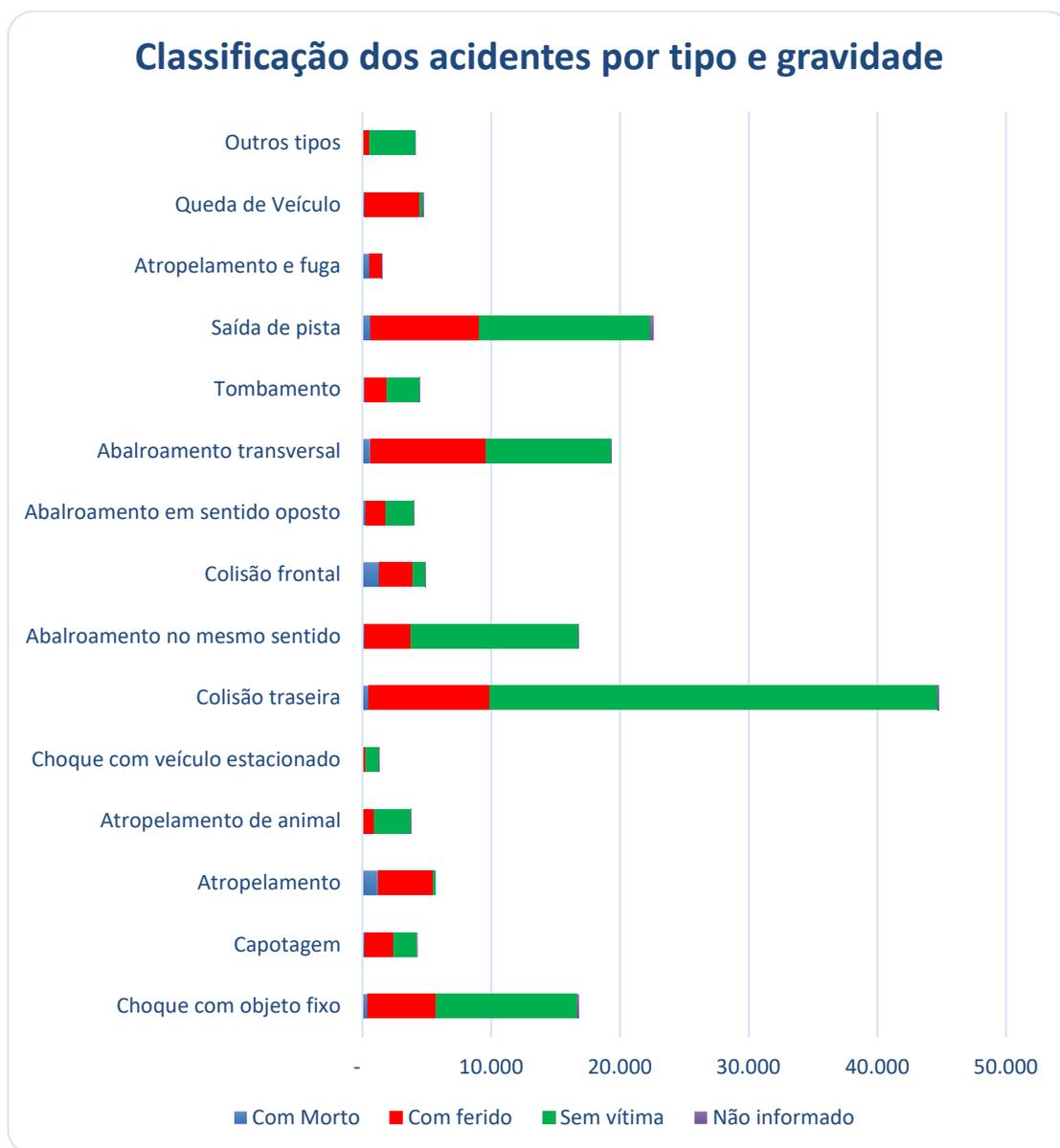


**Figura 4-5 – Distribuição mensal dos acidentes de trânsito em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, por gravidade da ocorrência.**

**Fonte: PRF (2010) adaptado pelo autor**

Segundo ANDERSON (2009), os dados de acidentes, normalmente, quando são adicionados a um banco de dados, são o resultado de uma contagem simples. A agregação, aos acidentes ocorridos dentro de locais críticos, de informações consideradas relevantes para análises conclusivas, como por exemplo, àquelas relacionadas a classificação de cada acidente (com morto, com feridos ou sem vítimas), permite uma classificação lógica que resulta na possibilidade de montagem de uma representação precisa de dados importantes, criando condições para o desenvolvimento de bases de dados adequadas para comparações.

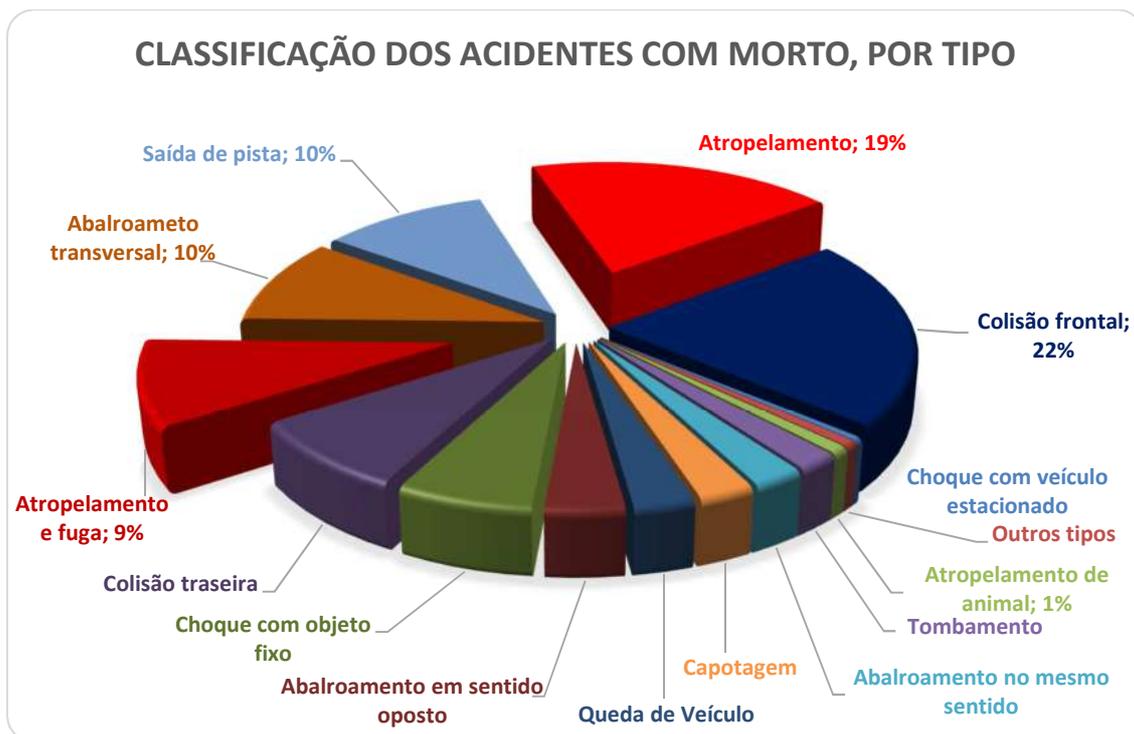
Assim, ampliando-se um pouco mais as informações dos acidentes ocorridos em 2009, nas rodovias federais brasileiras e classificando-as por tipo e gravidade de sua ocorrência, pode-se observar a relevância dos acidentes que envolvem a atenção dos condutores (saída de pista, abalroamento transversal, abalroamento no mesmo sentido, colisão traseira e choque contra objeto físico, por exemplo), como os de maiores quantitativos. A figura 4.6 ilustra os valores estratificados dos relatórios da PRF (2010).



**Figura 4-6 – Classificação por tipo e gravidade dos acidentes de trânsito em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009.**

**Fonte: PRF (2010) adaptado pelo autor**

A alta incidência dos acidentes sem vítimas acaba desviando a atenção para os dados que talvez sejam os mais relevantes neste tipo de estudo que são os acidentes fatais. Assim, os dados anteriores foram novamente classificados e refeita a sua análise considerando somente os dados relacionados aos acidentes fatais. A figura 4.7 apresenta o número de casos fatais por tipo de acidente.



**Figura 4-7 – Classificação dos acidentes de trânsito com Morto, ocorridos em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, por tipo.**

**Fonte: PRF (2010) adaptado pelo autor**

A análise dos dados acima permite verificar que ao contrário do que sugeria a figura 4.6, o grande problema em acidentes com morto, ocorridos em rodovias federais, durante o ano de 2009, foram os atropelamentos (atropelamentos somados aos atropelamentos e fuga) que representam 1.725 ocorrências, o maior volume entre todos e que representam cerca de 28,9 % de todos os acidentes fatais ocorridos. Assim, percebe-se a relevância dos dados relacionados, que atinge o grupo dos denominados vulneráveis (pedestres, ciclistas e motociclistas).

### **4.3 Bases metodológicas para a estruturação e tratamento das informações no sistema proposto**

O ponto de partida para este trabalho foi a base de dados resumida, disponível no Site do DNIT, em formato PDF, com cerca 159.000 acidentes ocorridos nas rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009 (Anexo A). Apesar de ser limitada em termos de detalhamento de informações por ter abrangência nacional demonstra ser uma base qualitativa relevante. Estes dados foram convertidos para o formato TXT e trabalhados

individualmente para viabilizar sua importação para o formato XLS, para que pudessem ser tratados de forma matemática.

Em uma segunda fase foram buscados os dados referentes às medições VDMA em 2.737 trechos de rodovias federais, realizadas durante o ano de 2009. Novamente o site do DNIT, foi utilizado como fonte de informação e mais uma vez os dados estavam no formato PDF, o que exigiu idêntico tratamento ao dispensado aos dados de acidentes (Anexo B).

Em seguida foram selecionados segmentos redundantes em extensão de ambos relatórios, o que resultou num novo relatório de acidentes. Foi feito um trabalho de consolidação dos acidentes em trechos compatíveis aqueles referenciados nas medições de VDMA. O resultado deste trabalho foi que os trechos considerados válidos perfaziam o total de somente cerca de 59.000 acidentes, haja vista que os demais teriam ocorrido em segmentos onde não foi feita a medição de volume de tráfego. A essas informações foram associadas aquelas sobre o número de faixas de rolamento além da participação percentual de trechos urbanos na extensão total de cada trecho, conforme a classificação da PRF, nos relatórios de acidentes. Destes foram excluídos aqueles onde não estava clara a liberação do trecho para circulação de veículos (tráfego obstruído ou interrompido, por obras ou outras razões), ou onde não foi possível conhecer o número exato de faixas de rolamento, por falta de registro no Órgão Regulamentador.

Para o presente estudo, no tocante ao tratamento das informações relacionadas à gravidade dos acidentes, será considerada a metodologia instituída pelo DNIT/UFSC (2009) definida na Equação 4 que permite quantificar acidentes através de uma Unidade Padrão de Severidade (UPS).

A base de dados resultante permitiu trabalhar as seguintes informações, do ano de 2009, consideradas relevantes para o presente trabalho: rodovia, Unidade da Federação, km inicial e final, VDMA, número de faixas, número de acidentes sem vítimas, com feridos e com mortos, percentuais da extensão do trecho em área urbano e rural. Estes números permitiram obter: a extensão, o total de acidentes, as UPS, além do percentual de extensão do trecho urbano, todos indicadores referenciados aos respectivos trechos das rodovias analisadas.

### 4.3.1 Tratamento estatístico dos dados

Apurando os valores com a utilização da Equação 4 foram calculadas UPS para cada trecho de rodovia analisado. Desta forma, cada segmento de rodovia passou a ter o total de acidentes ocorridos, bem como este novo indicador.

Através de pesquisa bibliográfica observou-se a existência de alguns estudos que apontaram as relações entre os acidentes ocorridos em certos trechos de vias comparando-os com o volume médio diário de tráfego anual de veículos. O presente estudo adotará uma abordagem semelhante a fim de verificar a aplicabilidade da metodologia à qualidade dos dados sobre acidentes ocorridos nas estradas brasileiras, e se propõe a aprofundar um pouco mais a análise dos dados obtidos a partir de tratamento matemático, consolidando os acidentes reportados, nas rodovias federais brasileiras durante o ano de 2009, por trechos, nos quais foram efetuadas contagens de volume de tráfego anual. A partir daí serão atribuídos os respectivos graus de correlação entre a quantidade de acidentes e/ou UPS, ambos no trecho analisado, confrontando-os, com os VDMA e demais variáveis disponíveis.

Entende-se como inovações trazidas pelo presente trabalho:

- Consolidação dos acidentes ocorridos em rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, por trechos compatíveis àqueles onde no mesmo ano foram feitas medições de VDMA;
- Utilização dos parâmetros de VDMA por faixa; e
- Tratamento do percentual de travessias urbanas (trechos urbanos) e rurais nos segmentos analisados.

Pressupõe-se que com a aplicação destes novos indicadores são criados parâmetros relevantes com vistas a uma modelagem matemática preditiva de acidentalidade e severidade por trecho de qualquer rodovia brasileira a partir dos dados de VDMA, percentual urbano daquele trecho e quantidade de faixas de rolamento.

Após o tratamento observou-se que todas as tentativas de relacionamento entre os acidentes ou sua severidade ao VDMA e a extensão do trecho se mostraram infrutíferas, o que mostrou a baixa significância deste último fator, em relação à base de dados utilizada, contrariando uma vasta bibliografia consultada. Assim, seguindo ainda o preconizado na bibliografia referenciada, foi feito um novo tratamento dos dados, desta vez considerando não mais os valores absolutos, mas seu logaritmo natural. A Tabela 4.1 apresenta as regressões efetuadas.

**Tabela 4.1 --** Dados trabalhados em regressões (fonte: o autor)

	$L_n$ (VDMA)	$L_n$ (Extensão do Trecho Urbano em km)	$L_n$ (Extensão do Trecho Rural em km)	variável lógica 100% Rural e 100% Urbana	variável lógica 100% Rural	variável lógica 100% Urbana
	X	X				
	X		X			
$L_n$ (Total de Acidentes no Trecho)	X			X		
	X				X	
	X					X
	X			X		
$L_n$ (Total de Acidentes sem Feridos no Trecho)	X				X	
	X					X
$L_n$ (Total de Acidentes com Feridos no Trecho)	X			X		
$L_n$ (Total de Acidentes com Morte no Trecho)	X			X		
	X	X				
$L_n$ (Severidade de Acidentes no Trecho)	X		X			

Tomando por base as pesquisas realizadas por ACKAA e SALIFU (2011) que resultaram na Equação 5, será feito tratamento similar, considerando, porém, variáveis consideradas relevantes para o perfil dos acidentes registrados nas rodovias federais brasileiras e de VDMA por faixa, a partir dos relatórios de 2009. Assim foram criadas as seguintes equações matemáticas a serem testadas:

$$\ln(AC) = \alpha + (\beta_1 \times \ln(VF)) + (\beta_2 \times L_u) \quad (6)$$

$$\ln(AC) = \alpha + (\beta_1 \times \ln(VF)) + (\beta_2 \times VL_{ru}) \quad (7)$$

$$\ln(AC) = \alpha + (\beta_1 \times \ln(VF)) + (\beta_2 \times L_r) \quad (8)$$

Em que: AC = Total de Acidentes no trecho

$\alpha$  = Interseção

$\beta_1$  = Coeficiente 1

VF = VDMA por Faixa no trecho

$\beta_2$  = Coeficiente 2

$L_u$  = Extensão do Trecho Urbano em km

$L_r$  = Extensão do Trecho Rural em km

$VL_{ru}$  = variável lógica 100% Rural e 100% Urbana ( $Dummy_{\substack{100\% \text{ Rural}=0 \\ 100\% \text{ Urbano}=1}}$ )

$$\text{Ln}(ASV) = \alpha + (\beta_1 \times \text{Ln}(VF)) + (\beta_2 \times VL_{ru}) \quad (9)$$

$$\text{Ln}(ASV) = \alpha + (\beta_1 \times \text{Ln}(VF)) + (\beta_2 \times L_r) \quad (10)$$

Em que: ASV = Total de Acidentes sem Vítimas no trecho

$\alpha$  = Interseção

$\beta_1$  = Coeficiente 1

VF = VDMA por Faixa no trecho

$\beta_2$  = Coeficiente 2

$L_r$  = Extensão do Trecho Rural em km

$VL_{ru}$  = variável lógica 100% Rural e 100% Urbana ( $Dummy_{\{100\% \text{ Rural}=0, 100\% \text{ Urbano}=1\}}$ )

$$\text{Ln}(UPS) = \alpha + (\beta_1 \times \text{Ln}(VF)) + (\beta_2 \times VL_{ru}) \quad (11)$$

$$\text{Ln}(UPS) = \alpha + (\beta_1 \times \text{Ln}(VF)) + (\beta_2 \times \text{Ln}(L_r)) \quad (12)$$

$$\text{Ln}(UPS) = \alpha + (\beta_1 \times \text{Ln}(VF)) + (\beta_2 \times \text{Ln}(L_u)) \quad (13)$$

Em que: UPS = Unidade Padrão de Severidade

$\alpha$  = Interseção

$\beta_1$  = Coeficiente 1

VF = VDMA por Faixa no trecho

$\beta_2$  = Coeficiente 2

$VL_{ru}$  = variável lógica 100% Rural e 100% Urbana ( $Dummy_{\{100\% \text{ Rural}=0, 100\% \text{ Urbano}=1\}}$ )

$L_r$  = Extensão do Trecho Rural em km

$L_u$  = Extensão do Trecho Urbano em km

Desta forma, são propostos oito modelos, com uma nova metodologia de tratamento matemático preditivo para a quantidade e índice de severidade dos acidentes que poderão vir a ocorrer em um determinado trecho de uma rodovia federal brasileira, desde que sejam conhecidos o VDMA, o percentual e/ou a extensão urbana e/ou rural deste trecho e o número de faixas do trecho.

Esta proposta de abordagem será testada com adaptações e ajustes de forma a tornar a exequível o tratamento dos dados brasileiros.

## 5. APLICAÇÃO DOS MÉTODOS

Neste tópico será feito todo o tratamento matemático dos dados de acidentes registrados pela PRF e os dados de VDMA registrados pelo DNIT, a fim de se reproduzir os modelos matemáticos.

### 5.1 Resultados obtidos com o tratamento matemático dos dados

Tomando por base as equações 6 a 13 definidas anteriormente e buscando por sua aplicabilidade na base de dados disponíveis. Foram trabalhadas as regressões que resultaram num arquivo consolidando os acidentes ocorridos por Estado, rodovia, km e sentido, nos trechos compatíveis aqueles que tiveram medição de VDMA durante o mesmo ano. Em seguida foram consolidadas o número de acidentes (sem vítima, com feridos, com mortos e total), e calculadas as UPS (conforme parametrização estabelecida na equação 5), os percentuais de segmentos urbanos e rurais, e o número de faixas de rolamento para cada trecho. Foram contabilizados 84.437 acidentes sem vítimas; 46.917 acidentes com feridos; e 5.090 acidentes com mortos e cerca de 9.000 não classificados. Nestes acidentes foram reportados 80.009 feridos e 3.768 mortos. A partir destes dados trabalhados foram estabelecidas regressões entre:

- As variáveis dependentes:
- O total de acidentes, o total de acidentes sem vítimas, e a UPS para o trecho;
- E as variáveis explicativas:
- VDMA;
- A extensão do trecho (urbana, rural e total);
- Foi criada variável lógica onde trechos 100% rural e trechos 100% urbanos receberam respectivamente valores 0 (zero) e 1 (um).

#### 5.1.1 Variáveis que explicam o fenômeno

A análise matemática nos valores envolvidos permite concluir que, tomando por base os dados levantados, seguindo a metodologia definida na revisão bibliográfica será estabelecido um novo tratamento matemático através de regressões considerando um, dois ou três fatores de forma a ter-se a percepção do grau de contribuição de cada um. A tabela 5.2 apresenta os resultados obtidos. Observa-se a relevância da conjugação dos

fatores VDMA, variável lógica 100% urbano e 100% rural, extensão dos trechos urbanos e rurais e a variável lógica 2 ou 4 faixas de rolamento.

Assim, usando conceituação similar à que foi proposta por ACKAAH e SALIFU (2011), porém descartando o uso da extensão total do trecho, serão formuladas equações que possam expressar matematicamente os valores esperados para o número de acidentes (AC), o número de acidentes sem vítimas que ocorrerão no trecho (ASV) e o Índice de Severidade esperado para os acidentes que ocorrerão no trecho (UPS) com base nos fatores relacionados às ocorrências nos trechos, tais como: VDMA por faixa, segmentos 100% urbano e 100% rural, e as extensões urbanas e rurais identificadas a partir da classificação do DNIT em seus mapas rodoviários. Como pode ser observado na tabela 5.2 estes fatores não só se mostram como os de maior relevância, mas são os que apresentam comportamento mais ajustado para as duas regressões.

**Tabela 5.2 - Regressão Linear dos dados trabalhados. Fonte: o autor**

		1 variável	2 variáveis	
		Ln (VDMA 2009)	Ln (VDMA 2009)	Ln (extensão trecho urbano em km)
<b>Ln (total de acidentes no trecho)</b>	<b>Nº Observações</b>	1945	1399	
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,375	0,45	
	<b>Interseção</b>	-3,606	0,4597	
	<b>Coefficientes</b>	0,7858	0,420	0,652
	<b>t</b>	34,17	18,320	23,412
	<b>Valor-P</b>	8,1E-201	2,367E-67	1,599E-102
	<b>Ln(total de acidentes) = 0,4597 + (0,420 x Ln(VMDA)) + (0,652 x Ln (extensão do trecho urbano)) (6)</b>			
<b>Ln (total de acidentes)</b>		Ln (VDMA 2009)	Ln (VDMA 2009)	Variável lógica 100% rural e 100% urbano
	<b>Nº Observações</b>	885	885	
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,19	0,41	
	<b>Interseção</b>	2,0195	-3,259	
	<b>Coefficientes</b>	1,504	0,6657	0,7136
	<b>t</b>	14,39	18,34	7,22
	<b>Valor-P</b>	2,25E-42	6,629E-64	1,11E-12
<b>Ln(total de acidentes) = -3,259 + (0,6657 x Ln(VMDA)) + (0,7136 x (Dummy<sub>100%urbano=1</sub><sup>100% rural=0</sup>)) (7)</b>				

		1 variável	2 variáveis	
<b>Ln (total de acidentes)</b>		<b>Ln (VDMA 2009)</b>	<b>Ln (VDMA 2009)</b>	<b>Ln (extensão trecho rural - km)</b>
	<b>N° Observações</b>	1945	1698	
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,375	0,519	
	<b>Interseção</b>	-3,606	-6,106	
	<b>Coefficientes</b>	0,7858	0,9308	0,5104
	<b>t</b>	34,17	41,32	22,15
	<b>Valor-P</b>	8,1E-201	8,5E-259	1,0E-95
<b>Ln(total de acidentes) = -6,106 + (0,9308 x Ln(VMDA)) + (0,5104 x Ln(extensão do trecho rural)) (8)</b>				
		<b>Ln (VDMA 2009)</b>	<b>Ln (VDMA 2009)</b>	<b>Variável lógica trecho 100% urbano e 100% rural</b>
<b>Ln (total de acidentes sem vítimas)</b>	<b>N° Observações</b>	1558	1558	
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,31	0,49	
	<b>Interseção</b>	-2,435	-1,829	
	<b>Coefficientes</b>	0,677	0,549	0,630
	<b>t</b>	26,99	24,64	23,35
	<b>Valor-P</b>	6,39E-132	1,918E-113	1,350E-103
<b>Ln(acidentes sem vítimas) = -1,829 + (0,549 x Ln(VMDA)) + (0,63 x (Dummy<sub>100%urbano=1</sub><sup>100%rural=0</sup>)) (9)</b>				
<b>Ln (total de acidentes sem vítimas no trecho)</b>		<b>Ln (VDMA 2009)</b>	<b>Ln (VDMA 2009)</b>	<b>Ln (extensão do trecho rural)</b>
	<b>N° Observações</b>	1856	1619	
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,41	0,53	
	<b>Interseção</b>	-4,559	-7,007	
	<b>Coefficientes</b>	0,835	0,9833	0,4676
	<b>t</b>	35,794	42,205	20,065
	<b>Valor-P</b>	9,1E-214	5E-263	3,858E-80
<b>Ln(acidentes sem vítimas) = -7,007 + (0,9833 x Ln(VMDA)) + (0,4676 x Ln (extensão do trecho rural)) (10)</b>				
<b>Ln (severidade de acidentes no trecho)</b>		<b>Ln (VDMA 2009)</b>	<b>Ln (VDMA 2009)</b>	<b>Variável lógica 100% rural e 100% urbano</b>
	<b>N° Observações</b>	1952	794	
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,297	0,339	
	<b>Interseção</b>	-1,631	-1,437	
	<b>Coefficientes</b>	0,690	0,584	0,785
	<b>t</b>	28,682	13,99	6,92
	<b>Valor-P</b>	3,0E-151	6,54E-40	9,22E-12
<b>Ln(UPS) = -1,437 + (0,584 x Ln(VMDA)) + (0,785 x (Dummy<sub>100%Urbano=1</sub><sup>100%Rural=0</sup>)) (11)</b>				

		1 variável	2 variáveis	
<b>Ln (severidade de acidentes)</b>		<b>Ln (VDMA 2009)</b>	<b>Ln (VDMA 2009)</b>	<b>Ln (extensão trecho rural em km)</b>
	<b>Nº Observações</b>	1952	1704	
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,297	0,45	
	<b>Interseção</b>	-1,631	-4,246	
	<b>Coefficientes</b>	0,690	0,844	0,533
	<b>t</b>	28,682	35,327	21,744
	<b>Valor-P</b>	3,009E-151	1,675E-205	1,045E-92
<b><math>Ln(UPS) = -4,246 + (0,844 \times Ln(VMDA)) + (0,533 \times Ln(\text{extensão trecho rural}))</math> (12)</b>				
<b>Ln (severidade de acidentes)</b>		<b>Ln (VDMA 2009)</b>	<b>Ln (VDMA 2009)</b>	<b>Ln (extensão trecho urbano em km)</b>
	<b>Nº Observações</b>	1952	1401	
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,297	0,452	
	<b>Interseção</b>	-1,631	0,437	
	<b>Coefficientes</b>	0,690	0,424	0,642
	<b>t</b>	28,682	18,429	23,230
	<b>Valor-P</b>	3,009E-151	4,6E-68	3,2E-101
<b><math>Ln(UPS) = 0,437 + (0,424 \times Ln(VMDA)) + (0,642 \times Ln(\text{extensão trecho urbano}))</math> (13)</b>				

Dos resultados acima, julga-se relevante destacar os valores estatísticos de “t”, “P” demonstram uma razoável qualidade dos dados obtidos, que permitem inferir que foi obtido um modelo matemático, com razoável nível de assertividade. Julga-se oportuno ressaltar que o valor de R<sup>2</sup> (0,339) para a equação de número 11, desaconselharia seu emprego, porém apenas para fazer uma testagem comparativa com as demais equações ela será mantida.

### 5.1.2 Melhores funções matemáticas da regressão

A partir das Equações de 3 a 10 foram obtidas as funções matemáticas que permitiram expressar respectivamente número de acidentes no trecho (AC), número de acidentes sem vítimas no trecho (ASV) e a UPS no trecho, bem como as variáveis que explicam o fenômeno, a saber, VDMA, percentual 100% Urbano e 100% Rural e o número de faixas de rolamento do trecho analisado. Assim:

$$\ln(AC) = 0,4597 + (0,420 \times \ln(VF)) + (0,652 \times L_u) \quad (6)$$

$$\ln(AC) = -3,259 + (0,6657 \times \ln(VF)) + (0,7136 \times VL_{ru}) \quad (7)$$

$$\ln(AC) = -6,106 + (0,9308 \times \ln(VF)) + (0,5104 \times L_r) \quad (8)$$

$$\ln(ASV) = -1,829 + (0,549 \times \ln(VF)) + (0,63 \times VL_{ru}) \quad (9)$$

$$\ln(ASV) = -7,007 + (0,9833 \times \ln(VF)) + (0,4676 \times L_r) \quad (10)$$

$$\ln(UPS) = -1,437 + (0,584 \times \ln(VF)) + (0,785 \times Ln(VL_{ru})) \quad (11)$$

$$\ln(UPS) = -4,246 + (0,844 \times \ln(VF)) + (0,533 \times Ln(L_r)) \quad (12)$$

$$\ln(UPS) = 0,437 + (0,424 \times \ln(VF)) + (0,642 \times Ln(L_u)) \quad (13)$$

Desta forma, são propostos oito modelos, com uma nova metodologia de tratamento matemático preditivo para a quantidade e índice de severidade dos acidentes que poderão vir a ocorrer em um determinado trecho de uma rodovia federal brasileira, desde que sejam conhecidos o VDMA, o percentual e/ou a extensão urbana e/ou rural deste trecho e o número de faixas do trecho.

## 5.2 Tratamento geográfico dos dados sobre acidentes

Os dados dos cerca de 159.000 acidentes ocorridos durante o ano de 2009 foram relacionados com os dados georreferenciados das rodovias federais disponibilizados pelo DNIT e cada acidente teve sua posição latitude x longitude convertida, sendo possível então criar uma camada georreferenciada dos acidentes, conforme representação na figura 5.1.

### Localização acidentes ocorridos nas rodovias federais em 2009

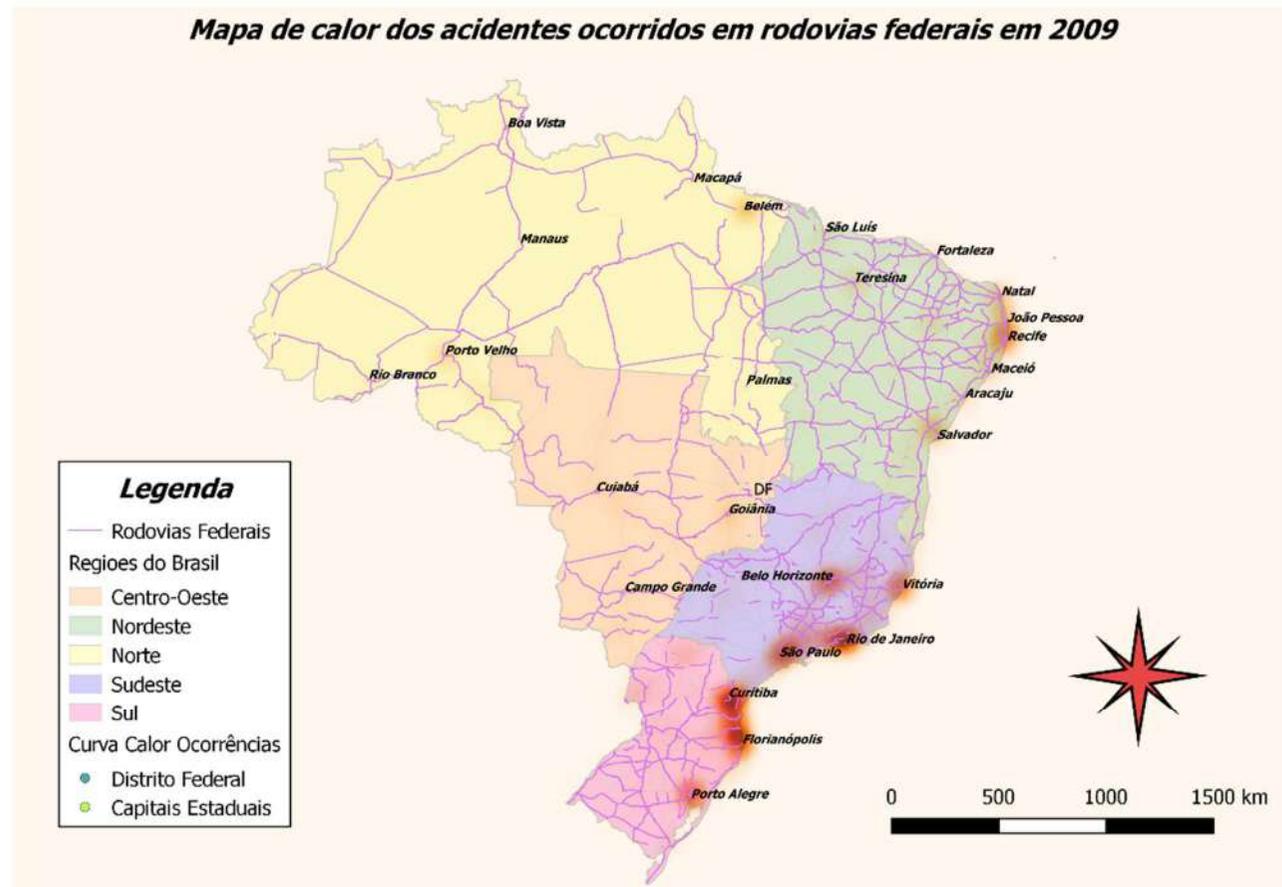


Figura 5-1 – Distribuição dos cerca de 159.000 acidentes ocorridos em rodovias federais durante 2009

Fonte: PRF (2010), adaptado pelo autor

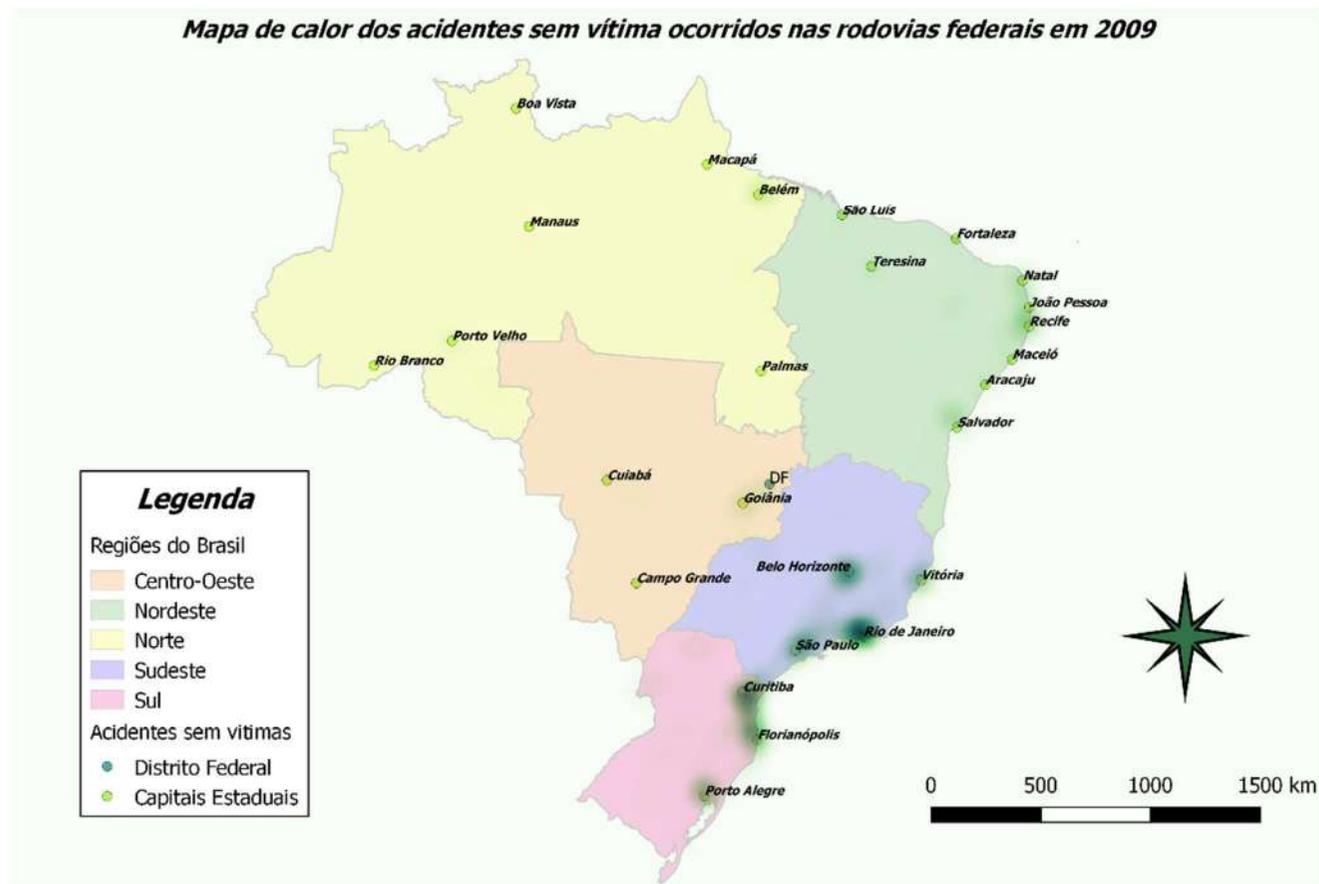
Como já foi citado anteriormente, apesar de conter todas as informações a figura 5.1 não permite uma fácil análise e compreensão dos dados, sequer os pontos de maiores ocorrências ou onde a gravidade dos acidentes é maior torna-se perceptível. Assim, com o uso de uma ferramenta GIS, no caso o software utilizado foi o QGIS<sup>®</sup>, esta mesma base de dados será segmentada em função das três classificações quanto à gravidade dos acidentes. As figuras 5.2, 5.3 e 5.4 representam, respectivamente, os mapas térmicos representando a quantidade de acidentes sem vítimas, com feridos e com mortos.

Ao contrário da figura 5.1, com esta nova representação dos cerca de 159.000 acidentes, é possível perceber a concentração das ocorrências, nas proximidades de algumas capitais, especialmente nos estados litorâneos, as únicas exceções ficam por conta de Minas Gerais, Goiás e Distrito Federal.



**Figura 5-2 – Mapa de calor do total de acidentes ocorridos em rodovias Federais durante 2009**

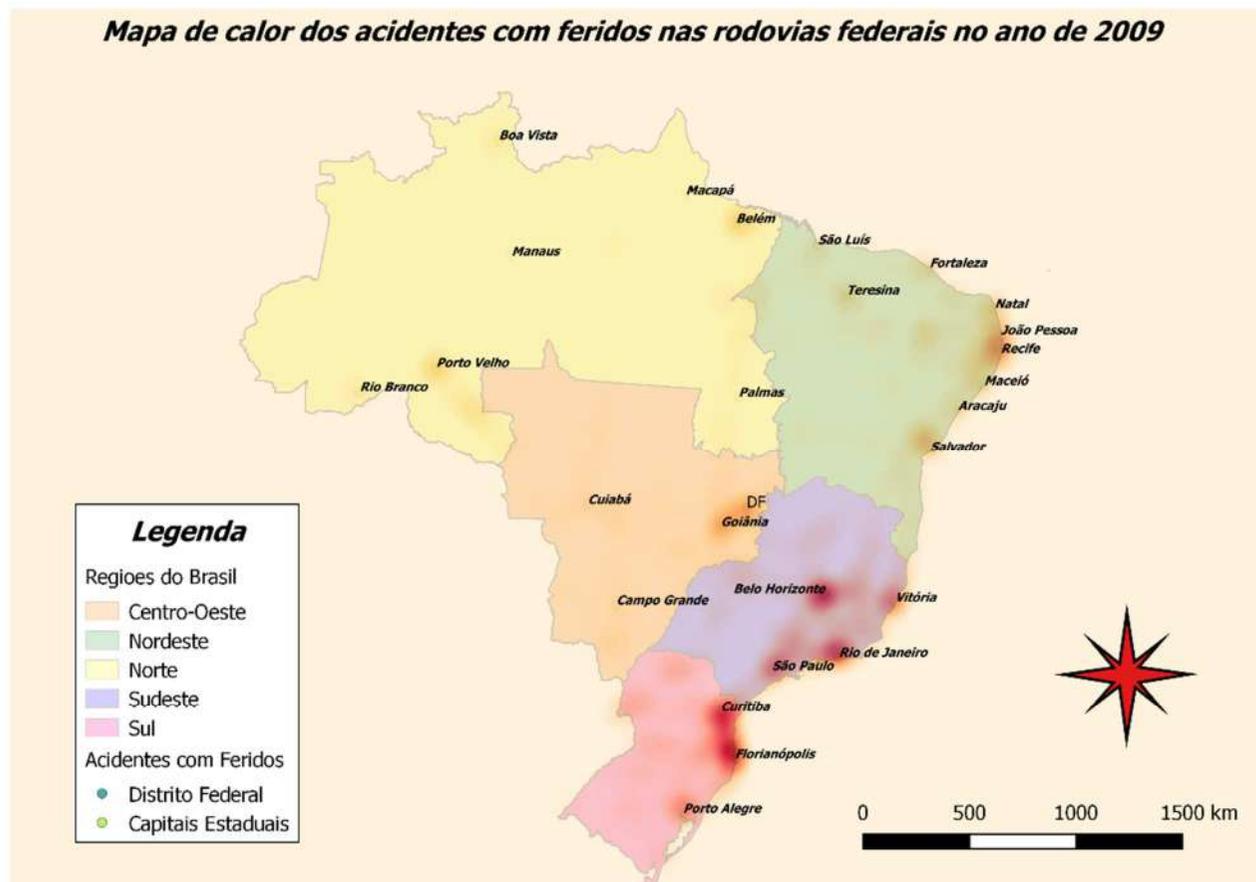
Fonte: PRF (2010), adaptado pelo autor



**Figura 5-3 – Mapa de calor dos acidentes sem vítimas ocorridos em rodovias Federais durante 2009**  
**Fonte : PRF (2010), adaptado pelo autor**

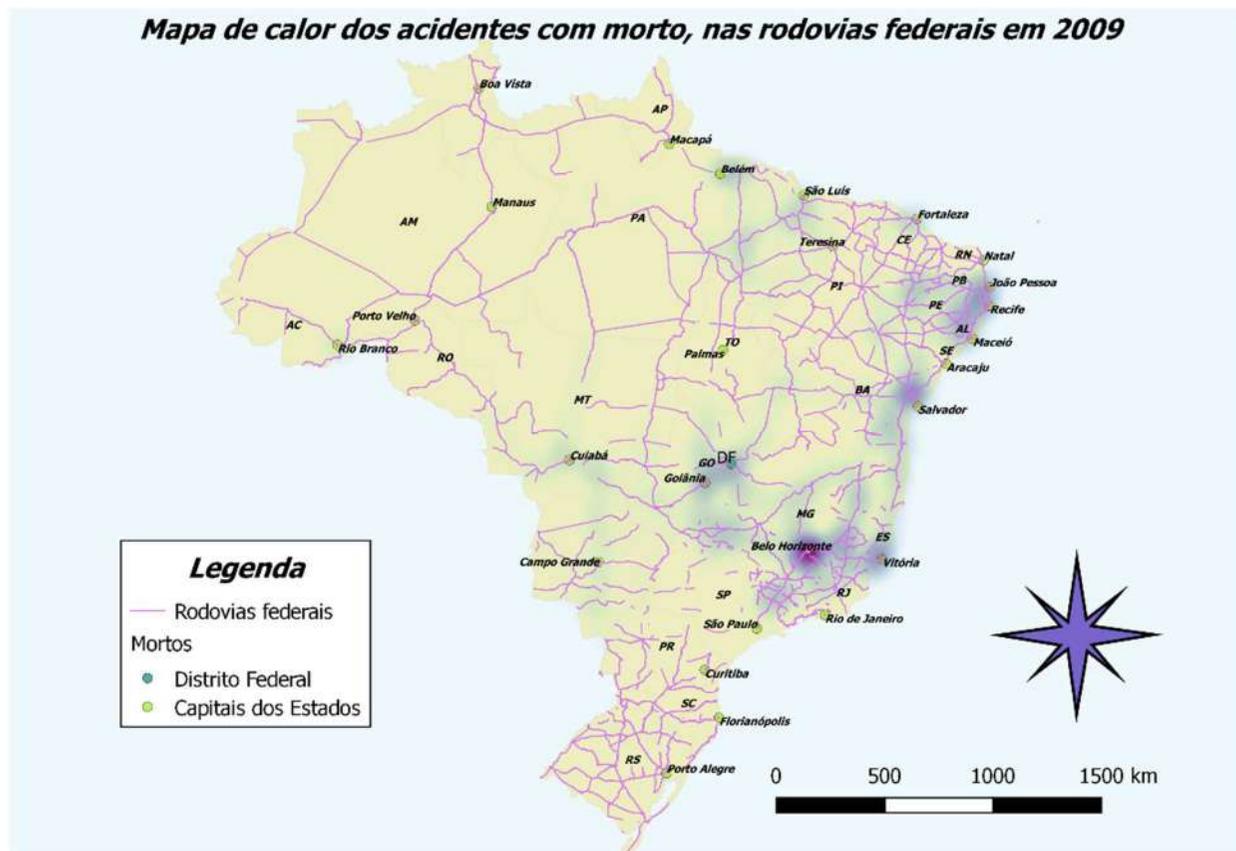
A figura 5.3 apresenta o mapa de calor dos cerca de 89.000 acidentes sem vítimas. Neste mapa é possível perceber uma ainda maior concentração em torno das capitais, possivelmente em função dos maiores volumes de veículos e restrições aos limites de velocidade, comuns em regiões metropolitanas, pela proximidade de grandes aglomerações humanas. Já a figura 5.4, apresenta o tratamento dos dados a partir de sua segmentação somente dos acidentes com feridos que resultaram em cerca de 55.000 ocorrências.

Na figura 5.4 é possível perceber que as curvas de calor já se alastram um pouco além dos limites das capitais representadas na figura 5.3. É possível perceber que existem sombreamentos nas regiões formadas pelos corredores, pelas rodovias que interligam estas capitais, especialmente nos estados das Regiões Sul e Sudeste. Julga-se, portanto, relevante e oportuno, efetuar o mesmo tipo de tratamento desta vez aplicados aos dados relacionados aos acidentes com mortos ocorridos. Na figura 4.6 foi elaborada uma nova representação dos dados com o uso de um mapa de calor, desta vez com os cerca de 6.000 acidentes com mortos.



**Figura 5-4 – Mapa de calor dos acidentes com feridos ocorridos em rodovias Federais durante 2009**

Fonte : PRF (2010), adaptado pelo autor



**Figura 5-5 - Mapa de calor dos acidentes com mortos ocorridos em rodovias Federais durante 2009**  
 Fonte: PRF (2010), adaptado pelo autor

A figura 5.5 mostra-se significativamente diferente das três figuras anteriores, haja vista que ao contrário do que seria esperado, a maior concentração dos acidentes com mortos, não ocorre em todas as capitais, mas de forma significativa no interior dos estados do Nordeste, Goiás, Minas Gerais, Espírito Santo, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Salvo melhor juízo, percebe-se a melhor visibilidade e possibilidade de tornar evidente informações relevantes para uma análise, quando se utiliza de uma ferramenta GIS adequada à análise requerida.

Julga-se oportuno ressaltar que cerca de 9.000 acidentes deixaram de ser contabilizados nos três mapas anteriores em função de terem recebido a classificação “ignorado”.

Dando continuidade ao tratamento dos dados disponíveis, foi elaborado um novo mapa temático que leva em consideração as UPS, consolidadas a partir dos trechos rodovias federais, durante o ano de 2009, compatíveis com a segmentação estabelecida pelos mapas utilizados pelo DNIT (2010), e que é apresentado na Figura 5.6.

A figura 5.6, numa análise superficial, sugere que seriam relevantes os trechos rodoviários que fazem as ligações entre as capitais na severidade de acidentes no trecho, porém ao se ampliar a imagem, como forma de permitir uma análise mais detalhada da situação, pode-se verificar que, em relação ao UPS, as ligações entre as capitais não são os trechos com os maiores valores. A figura 5.7 apresenta em destaque os dados relacionados à Região Sul do Brasil.

**UPS nos trechos com contagem de VDMA nas rodovias federais no ano de 2009**

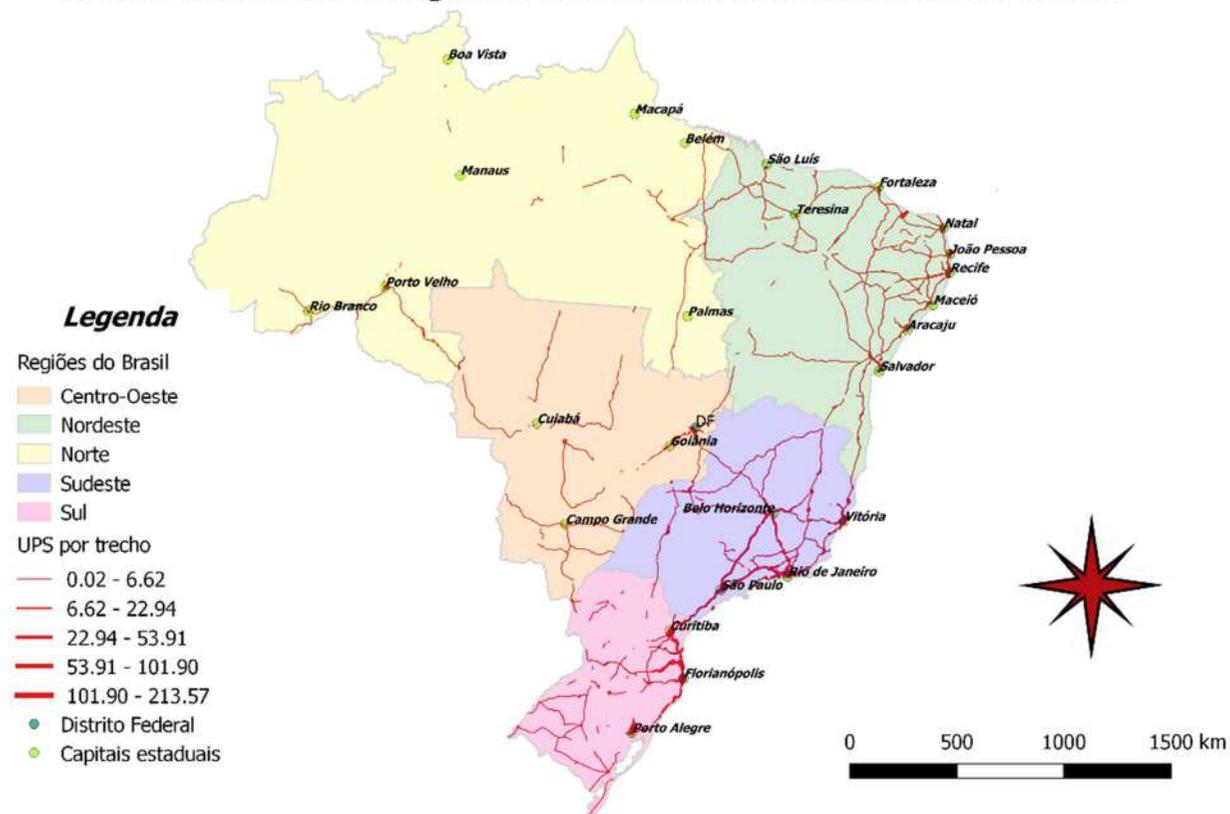
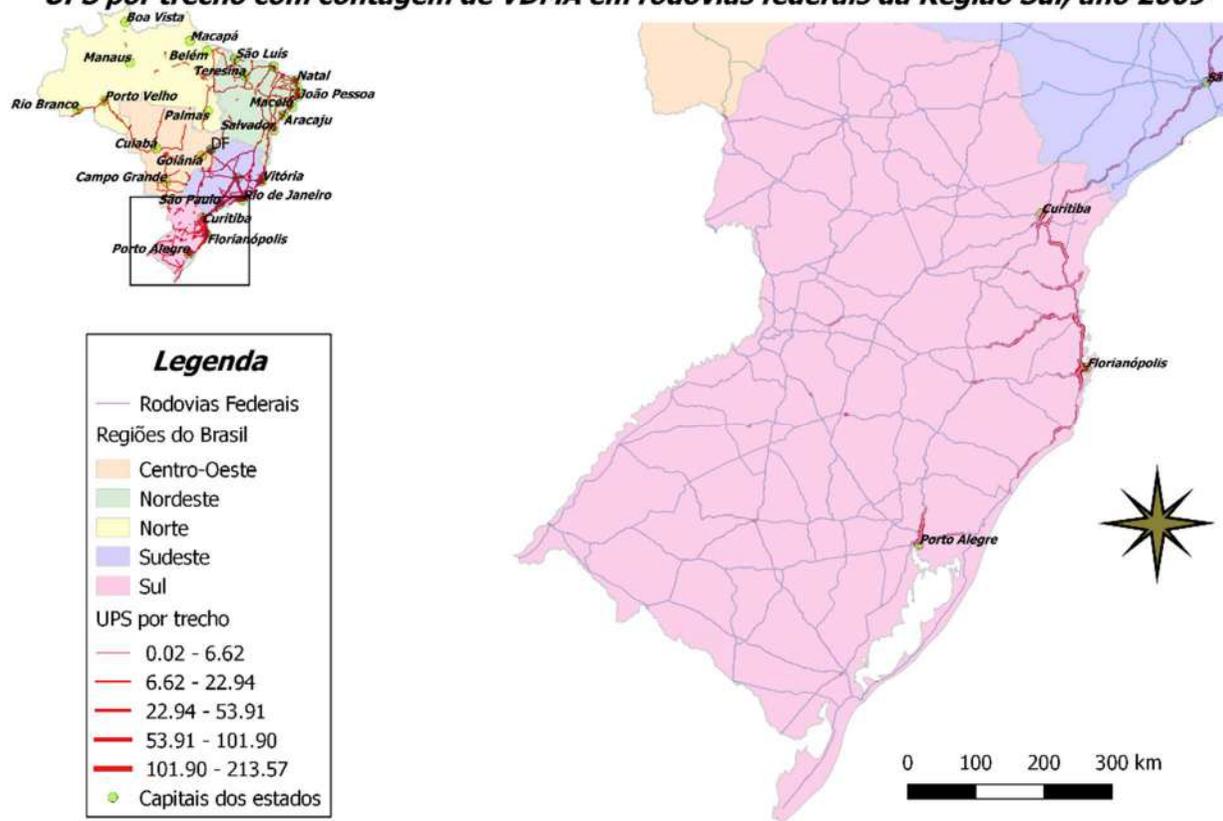


Figura 5-6 - Mapa do Unidade Padrão de Severidade de Acidentes, por trecho de contagem de VDMA em rodovias Federais durante 2009

Fontes: PRF (2010) e DNIT (2010), adaptado pelo autor

**UPS por trecho com contagem de VDMA em rodovias federais da Região Sul, ano 2009**



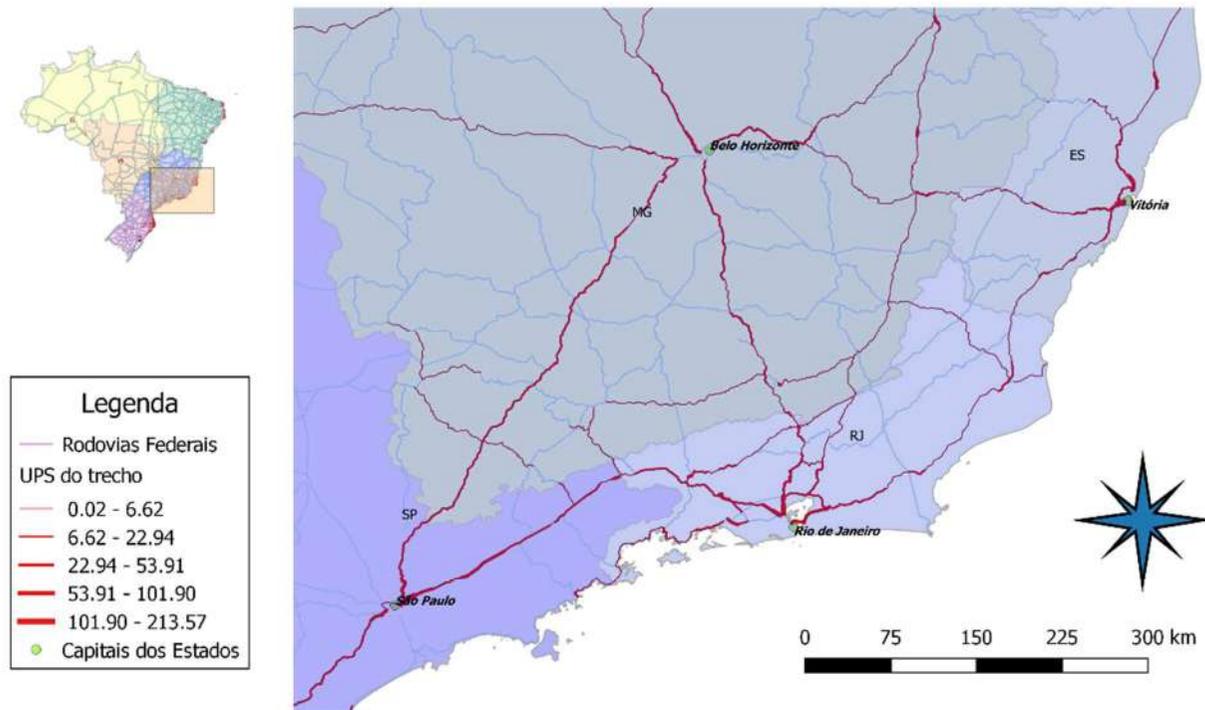
**Figura 5-7 - Mapa do Unidade Padrão de Severidade de Acidentes, por trecho de contagem de VDMA em rodovias Federais, na Região Sul do Brasil durante 2009**

Fontes: PRF (2010) e DNIT (2010), adaptado pelo autor

Pela figura anterior é possível perceber, que os trechos que interligam as capitais são tão importantes como outros trechos do interior, quando a análise envolve os índices de sinistralidade (UPS).

A figura 5.8 detalha os UPS nos trechos de rodovias federais para a Região Sudeste, onde é possível observar a relevância dos dados relacionados às ligações entre as capitais, em especial nas áreas urbanas de São Paulo, Rio de Janeiro e Vitória, em relação as demais ligações. O que se supõe ser compatível com o volume de veículos, a qualidade das vias (permitindo maiores velocidades médias, por exemplo), existência de bolsões de populações em cidades médias e grandes ao longo dos trechos, dentre outros.

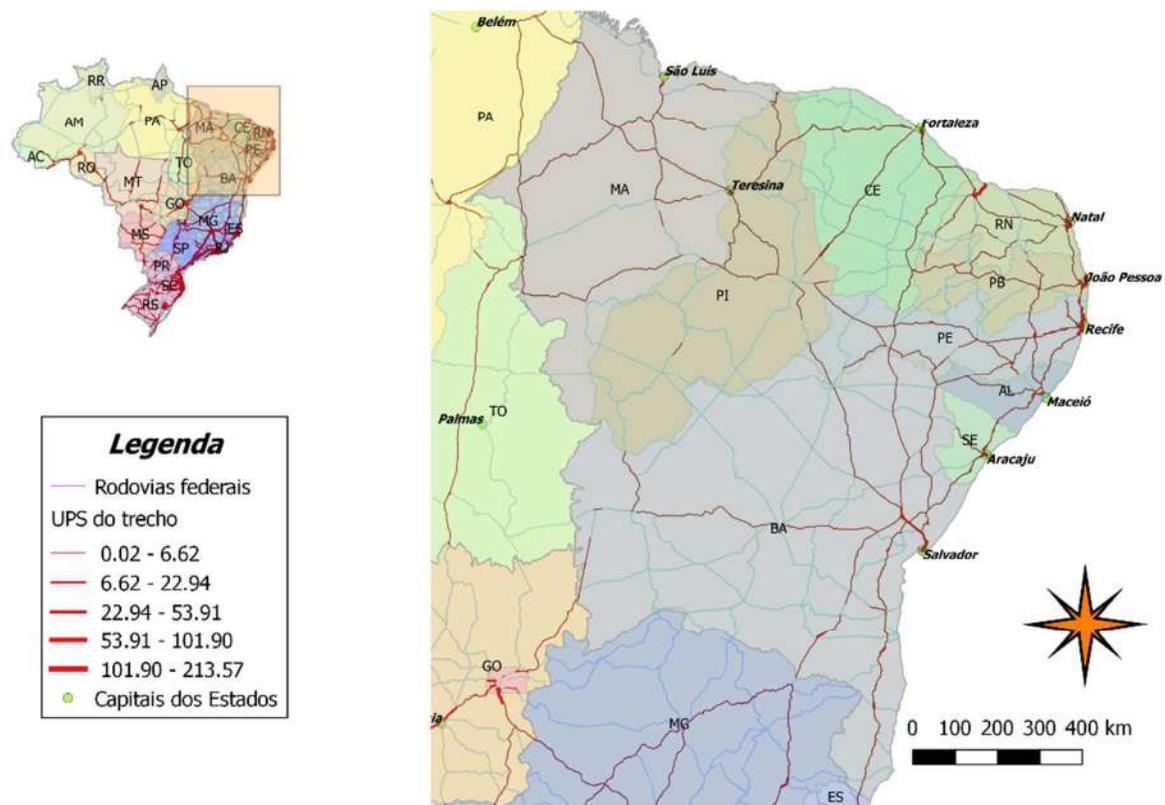
**UPS nos trechos com contagem VDMA nas rodovias federais da Região Sudeste em 2009**



**Figura 5-8 - Mapa do Unidade Padrão de Severidade de Acidentes, por trecho de contagem de VDMA em rodovias Federais, na Região Sudeste do Brasil durante 2009**

Fontes: PRF (2010) e DNIT (2010), adaptado pelo autor

**UPS por trecho com contagem de VDMA em rodovias federais na Região Nordeste em 2009**



**Figura 5-9 - Mapa do Unidade Padrão de Severidade de Acidentes, por trecho de contagem de VDMA em rodovias Federais, na Região Nordeste durante 2009**

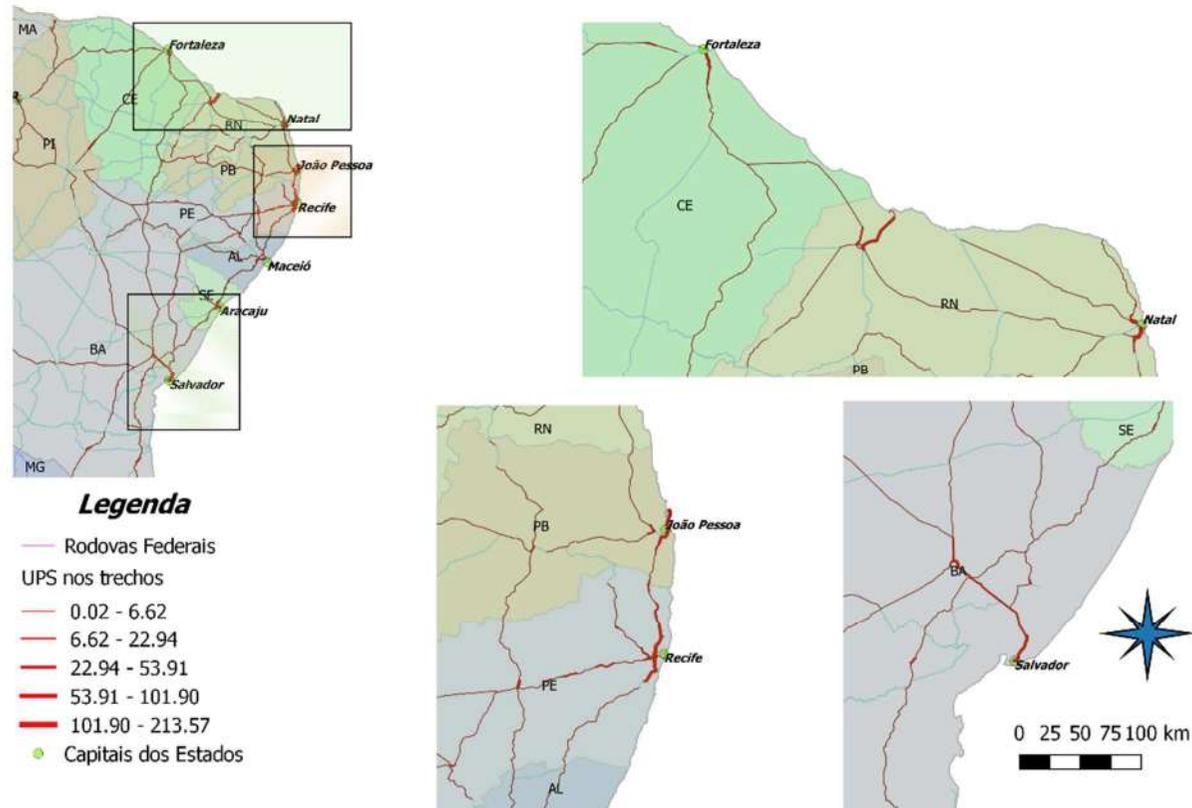
Fontes: PRF (2010) e DNIT (2010), adaptado pelo autor

A figura 5.9 apresenta os dados relacionados à Região Nordeste do Brasil.

Julga-se relevante observar que diferentemente do observado nos dois mapas regionais anteriores os UPS nos trechos da Região Nordeste são distribuídos de uma forma bastante homogênea por toda a Região, porém se observarmos cuidadosamente os trechos próximos às capitais, será possível perceber que áreas em torno de Salvador, Recife, João Pessoa e Natal, tem um maior índice de sinistralidade, conforme é possível observar na figura 5.10.

Apesar destas pequenas discrepâncias ante o que seria o normal para a região, observa-se que é significativa a participação das ligações “secundárias” nos índices de severidade nos trechos, o que se mostra coerente com o mapa de calor com acidentes com mortos apresentado nas figuras 5.2, 5.4 e principalmente 5.5, onde as manchas de calor estavam mais adensadas no interior da região nordeste em lugar das capitais.

**Mapa ampliado das capitais da Região Nordeste com maiores UPS em rodovias federais com contagem de VDMA em 2009**



**Figura 5-10 - Mapa ampliado das capitais da Região Nordeste com maiores Unidades Padrão de Severidade de Acidentes em rodovias Federais, na Região Nordeste durante 2009**

Fontes: PRF (2010) e DNIT (2010), adaptado pelo autor

### **5.3 Inserção do Índice de Desenvolvimento Humano no Tratamento dos Dados sobre acidentes**

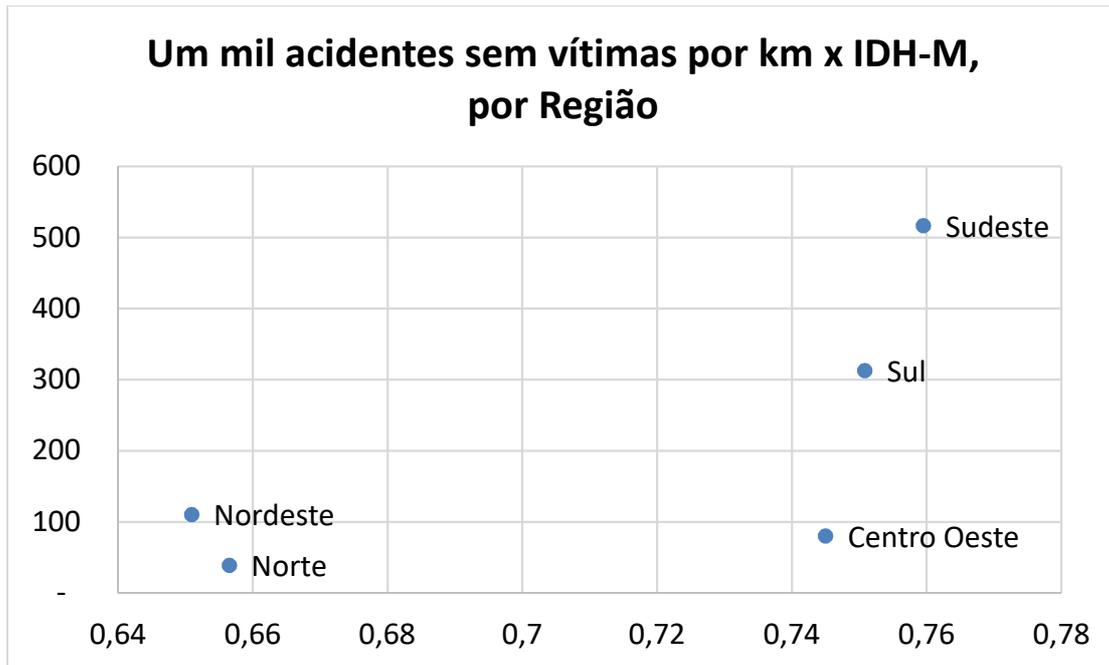
Considerando a extensão do território brasileiro e as disparidades entre seus diferentes pontos, buscou-se por um possível relacionamento entre os acidentes e dados socioeconômicos de cada região, estado ou região metropolitana, a fim de verificar uma possível correlação entre estes dados e os índices de acidentes ocorridos. Assim, foram buscados os dados socioeconômicos disponíveis, mais próximos do ano de 2009. No caso, a pesquisa nacional sobre o Índice de Desenvolvimento Humano do ano de 2010, obtido junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que inclui todos os municípios brasileiros. Estes dados foram inicialmente consolidados por Região, Estado e finalmente por Região Metropolitana. Para que a ordem de grandeza dos números envolvidos guardasse um grau coerência, o tratamento dos acidentes foi feito não em sua integralidade, mas por extensão do trecho onde houve medição de VDMA.

#### **5.3.1 O tratamento por Região**

De forma a permitir uma melhor análise dos dados relacionados será feita uma consolidação das informações por região do Brasil, de forma a se verificar a validade deste tratamento de dados para estabelecer a correlação dos valores obtidos. Julga-se oportuno ressaltar que apesar do tratamento por Região consolidar uma quantidade significativa de eventos, na medida que estes são consolidados em cinco grandes conjuntos, torna-se inadequado qualquer tratamento matemático na busca de uma correlação dos parâmetros analisados, isto, porém não invalida uma análise geográfica comparando os dados relacionados ao IDH-M de cada Região com os índices relacionados à classificação dos acidentes e sua severidade.

As figuras 5.11, 5.12 e 5.13 representam, respectivamente, o gráfico e os mapas com os dados sobre os acidentes sem feridos, por quilômetro e os IDH-M dos municípios consolidados por Região.

Para a elaboração do gráfico os valores de acidentes por km, foram multiplicados por mil, apenas como forma a facilitar a visualização dos dados.



**Figura 5-11 – Mil acidentes sem vítimas por quilômetro nos trechos com medição de VDMA (2009) x IDH-M (2010), por Região.**

**Fontes: PRF (2010) e IBGE (2010). Adaptado pelo autor**

### Mapa do Brasil com IDH-M por Regiões

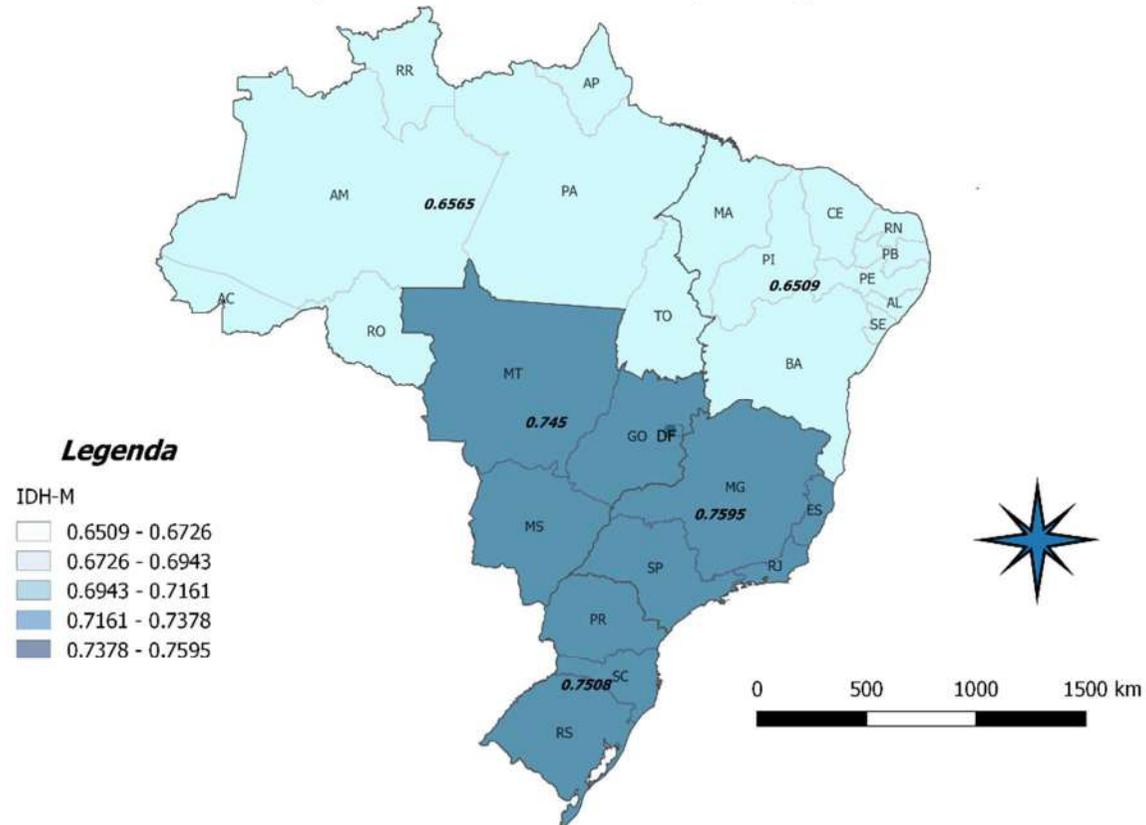
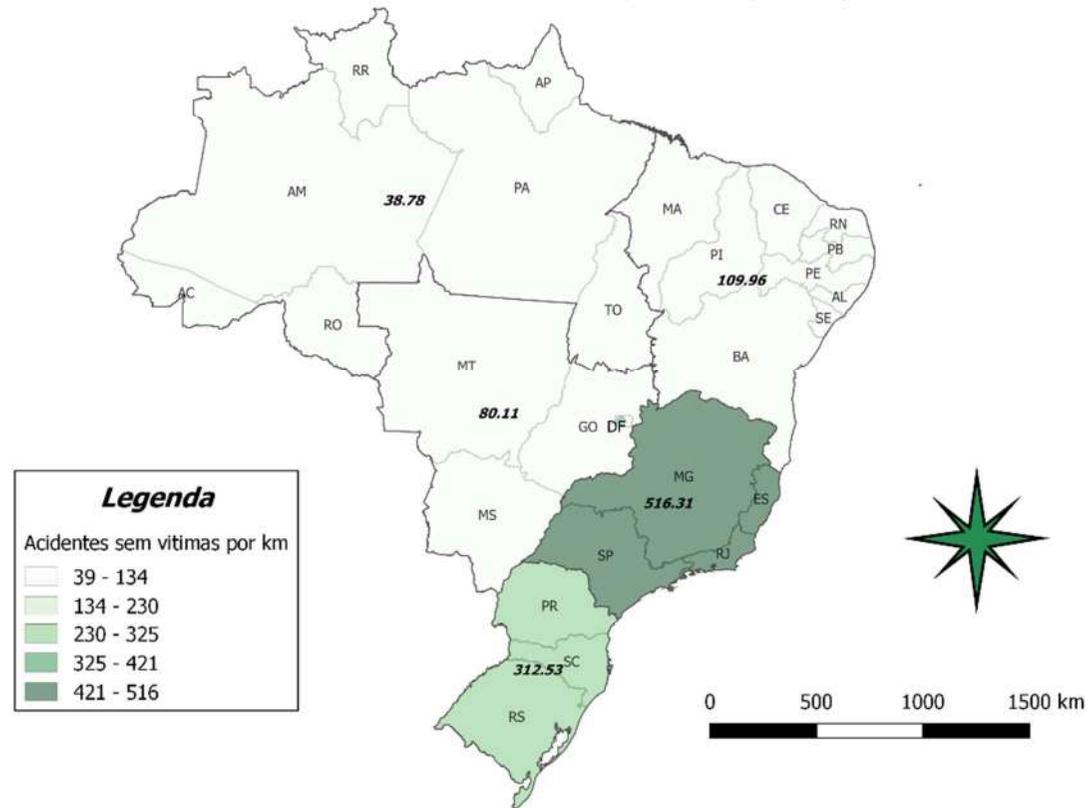


Figura 5-12 - Mapa do Brasil com o IDH-M por Regiões

Fonte: IBGE (2010). Adaptado pelo autor

**Um mil acidentes sem vítima nas rodovias federais, por km e por Região no ano de 2009**

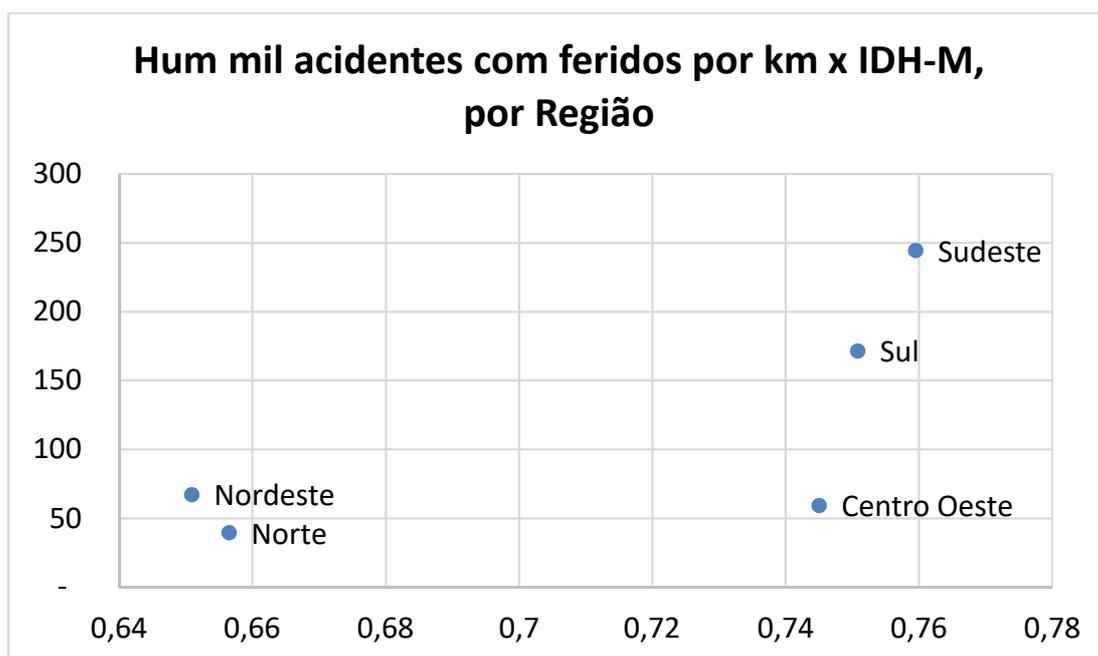


**Figura 5-13 - Mapa do Brasil mil acidentes sem vítimas por quilômetro**

**Fontes: PRF (2010). Adaptado pelo autor**

Pelo gráfico é possível observar que no caso dos acidentes sem vítimas rateados pela extensão do trecho onde houve medição de VDMA, há uma correlação entre os acidentes e o IDH-M na Regiões do Brasil, ou seja, tomando por base os dados trabalhados, relativos ao ano de 2009, é coerente a afirmar que quanto maior o IDH-M será proporcionalmente maior o número de acidentes sem vítimas na Região.

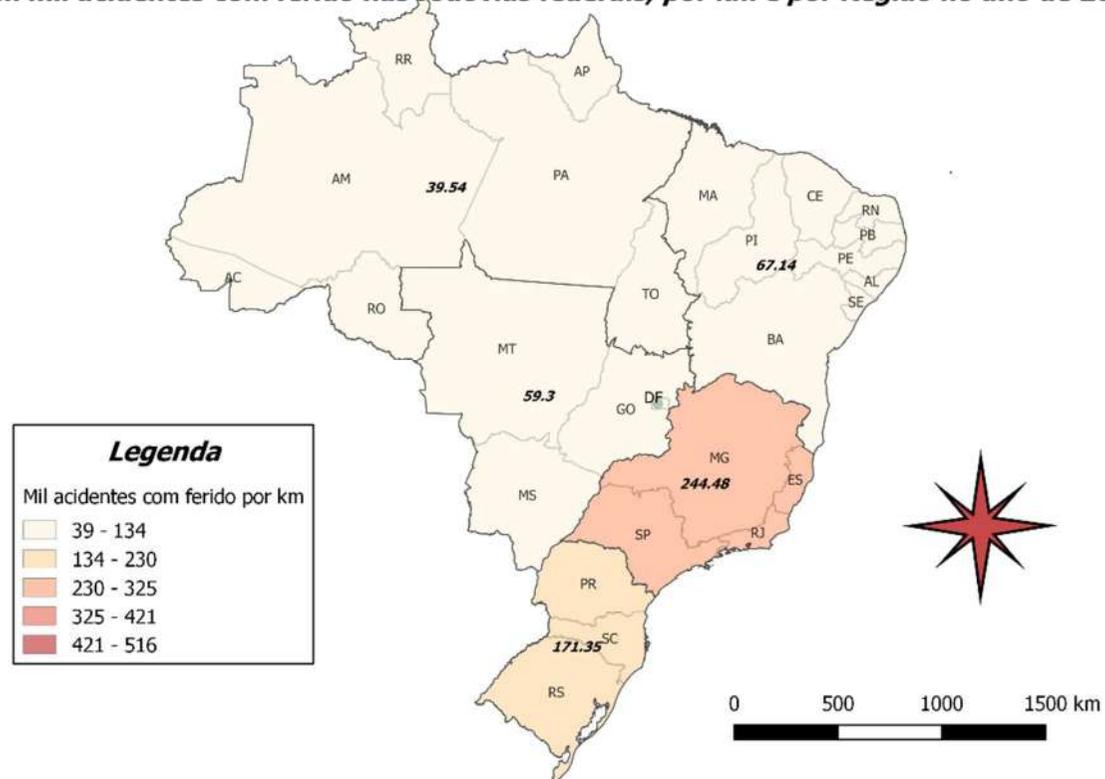
As figuras 5.14, 5.12 e 5.15 representam, respectivamente, tratamento similar, diferenciando somente tratar-se da série dos acidentes com feridos por km.



**Figura 5-14 – Mil acidentes com feridos por quilômetro nos trechos com medição de VDMA (2009) x IDH-M (2010), por Região.**

**Fontes: PRF (2010) e IBGE (2010). Adaptado pelo autor**

**Um mil acidentes com ferido nas rodovias federais, por km e por Região no ano de 2009**

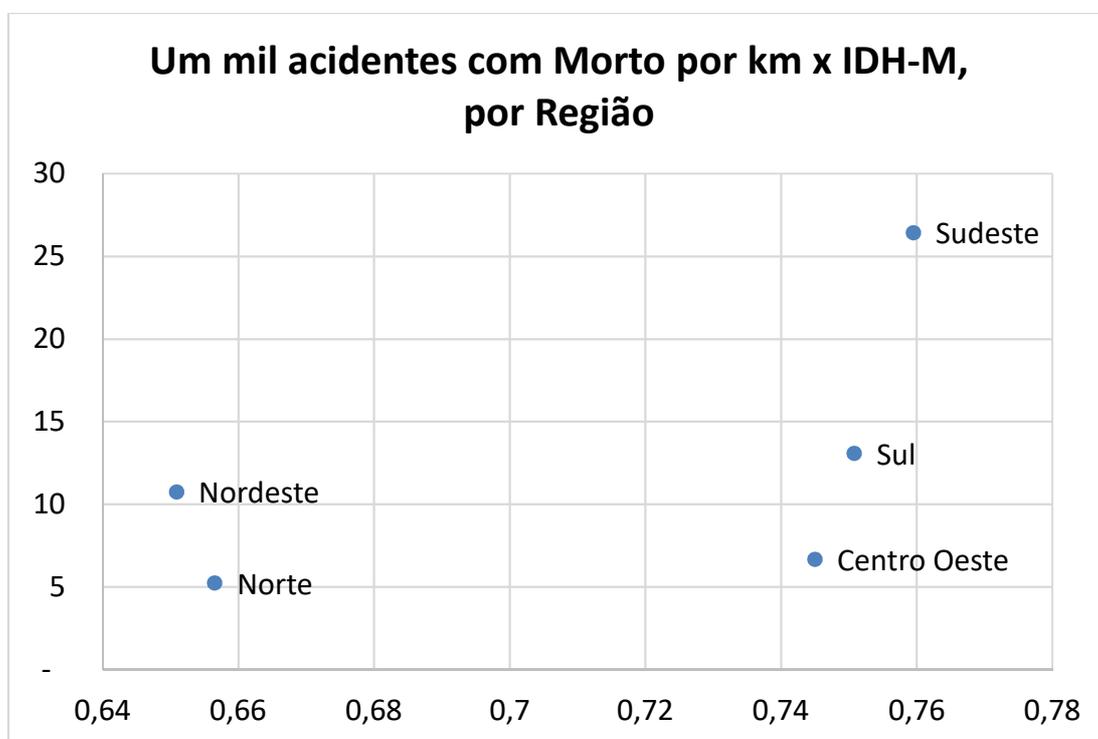


**Figura 5-15 - Mapa do Brasil por Região, mil acidentes com feridos por quilômetro**

**Fontes: PRF (2010). Adaptado pelo autor**

Pelo gráfico é possível observar que no caso dos acidentes com feridos rateados pela extensão do trecho onde houve medição de VDMA, há novamente uma correlação entre os acidentes e o IDH-M nas Regiões Norte e Nordeste e Sul e Sudeste do Brasil, ou seja, tomando por base os dados trabalhados, relativos ao ano de 2009, é coerente afirmar que quanto maior o IDH-M será proporcionalmente maior o número de acidentes com feridos nestas Regiões.

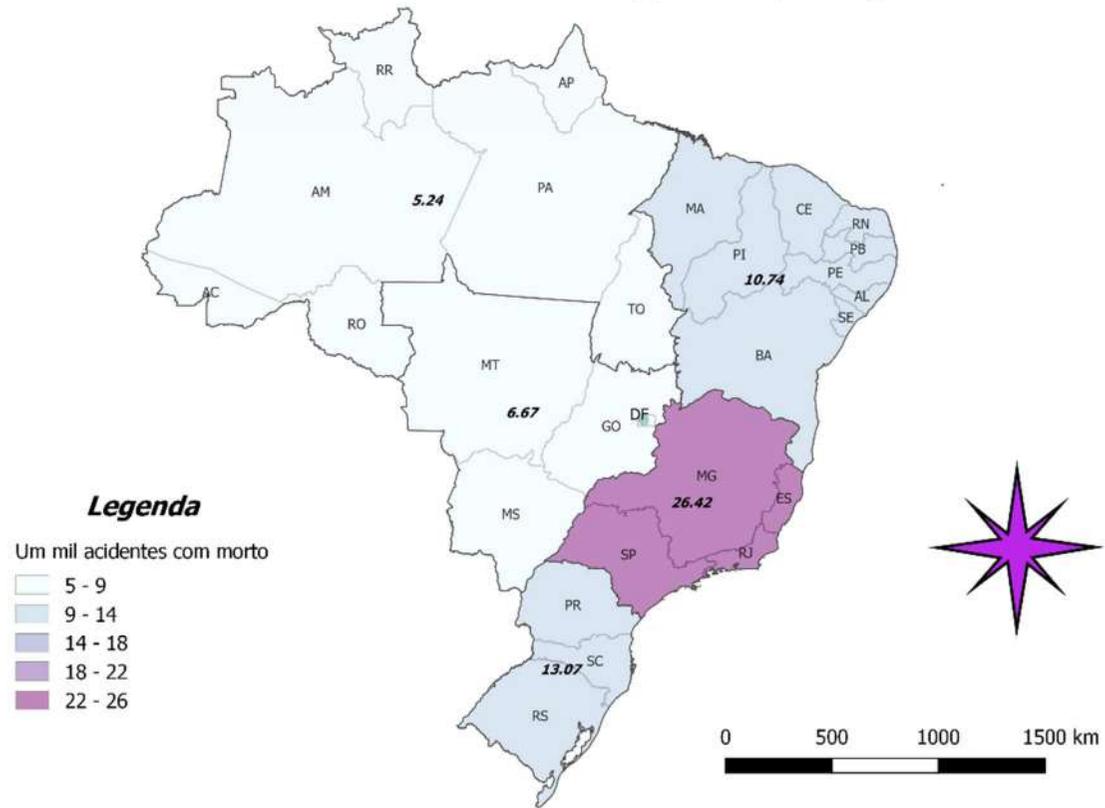
As figuras 5.16 e 5.17 representam, respectivamente, o gráfico e mapa com de tratamento dados similares, diferenciando somente tratar-se da série dos acidentes com morto por km.



**Figura 5-16 – Mil acidentes com Morto por quilômetro nos trechos com medição de VDMA (2009) x IDH-M (2010), por Região.**

**Fontes: PRF (2010) e IBGE (2010). Adaptado pelo autor**

**Um mil acidentes com morto nas rodovias federais, por km e por Região no ano de 2009**

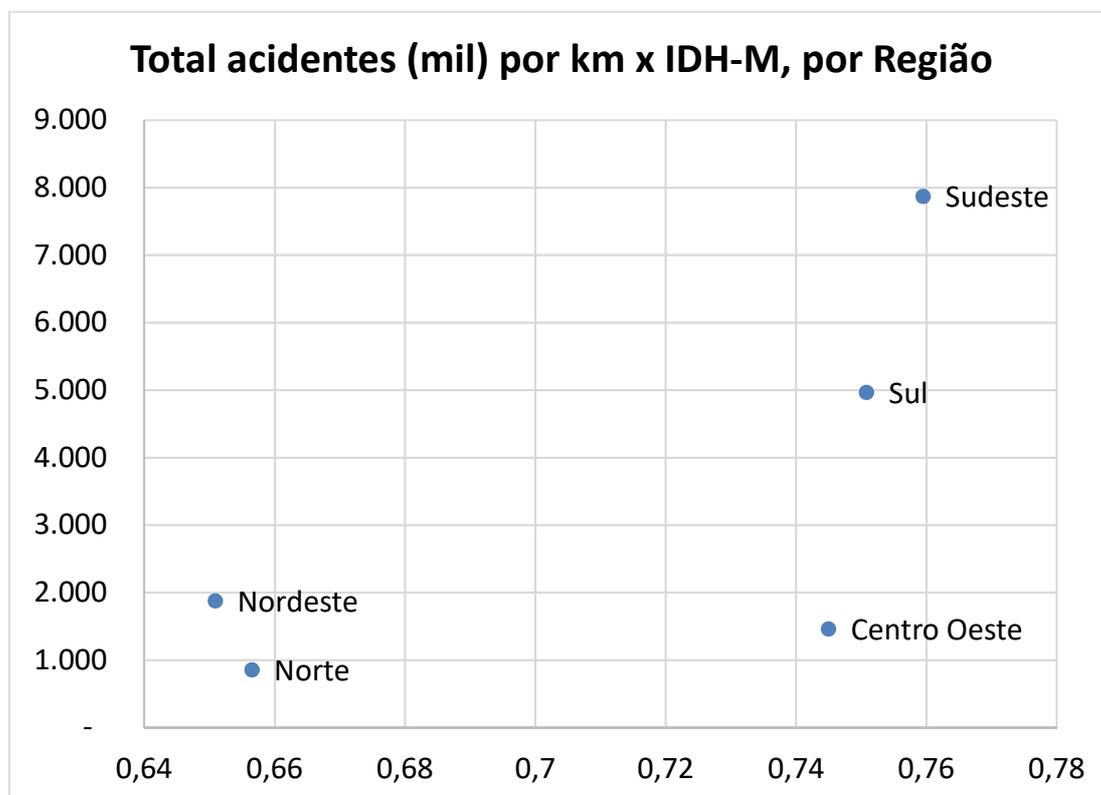


**Figura 5-17 - Mapa do Brasil por Região, mil acidentes com Morto por quilômetro**

**Fontes: PRF (2010). Adaptado pelo autor**

Pelo gráfico é possível observar que no caso dos acidentes com morto rateados pela extensão do trecho onde houve medição de VDMA, há uma correlação fraca entre os acidentes e o IDH-M nas Regiões do Brasil, ainda assim, tomando por base os dados trabalhados, relativos ao ano de 2009, é razoável afirmar que quanto maior o IDH-M será proporcionalmente maior o número de acidentes com feridos nestas Regiões.

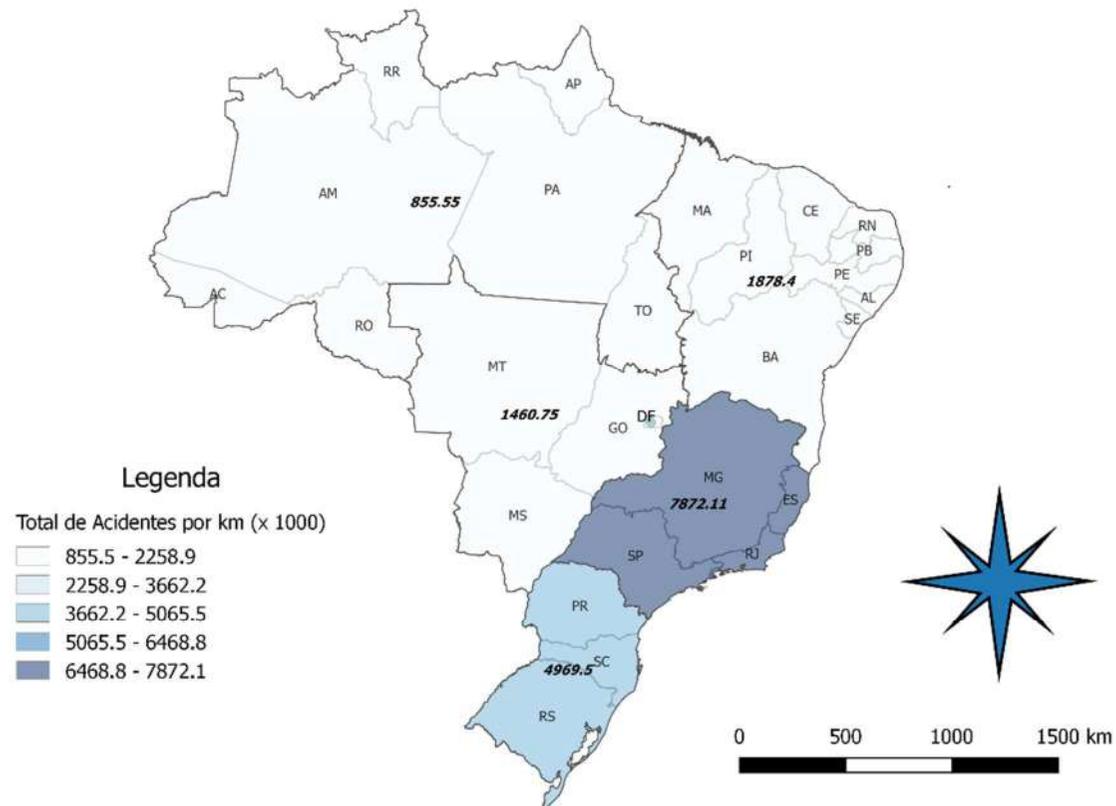
As figuras 5.18 e 5.19 representam, respectivamente, tratamento similar, diferenciado somente por tratar-se da série total de acidentes por km.



**Figura 5-18 – Total de acidentes (mil) por quilômetro nos trechos de medição de VDMA (2009) x IDH-M (2010), por Região.**

**Fontes: PRF (2010) e IBGE (2010). Adaptado pelo autor**

**Um mil total de acidentes nas rodovias federais, por km e por Região no ano de 2009**

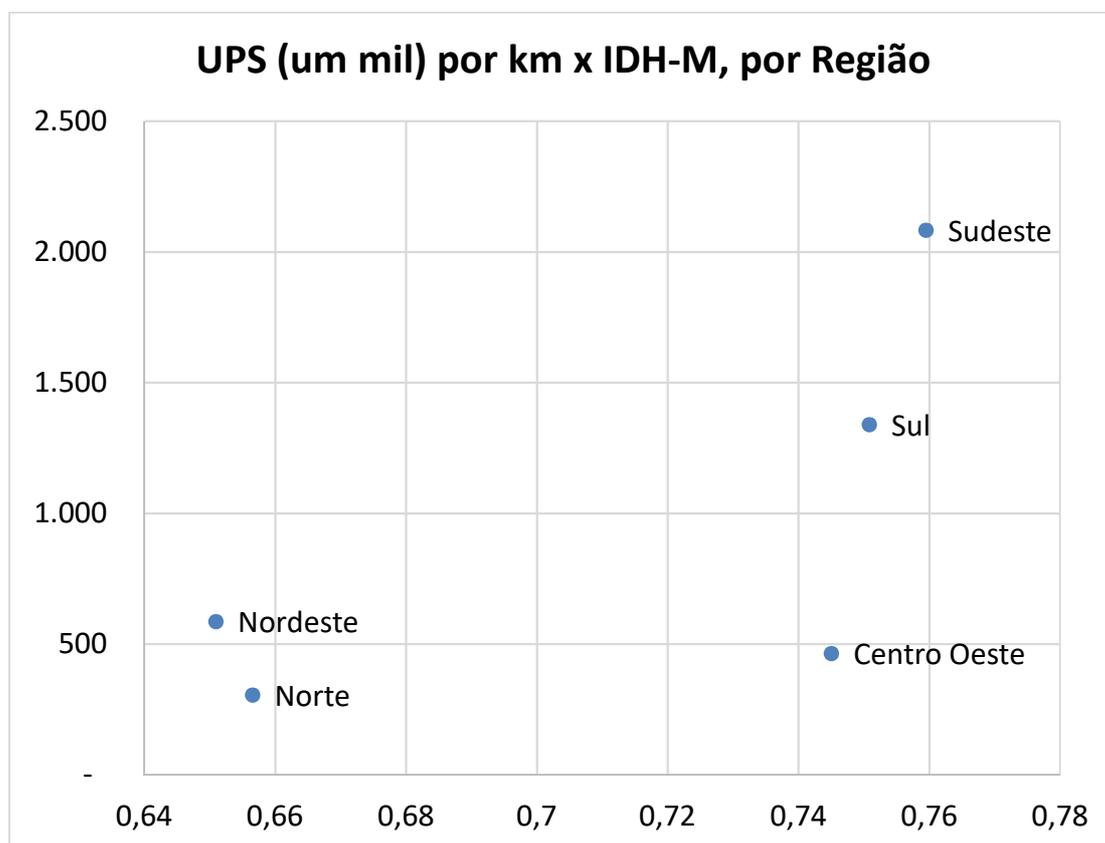


**Figura 5-19 - Mapa do Brasil por Região, total de acidentes (mil) por quilômetro**

**Fontes: PRF (2010). Adaptado pelo autor**

Pelo gráfico é possível observar que o total de acidentes rateados pela extensão do trecho onde houve medição de VDMA. Comparando as figuras 5.12 e 5.18, pode-se afirmar que são visíveis as relações entre o IDH-M nos estados com menores concentrações de riqueza e as menores concentrações de acidentes por quilômetro e vice-versa. Por esta razão, a exemplo das situações anteriores de acidentes sem vítimas e com feridos, tomando por base os dados trabalhados, relativos ao ano de 2009, é coerente a afirmar que quanto maior o IDH-M será proporcionalmente maior o número de acidentes com feridos nestas Regiões.

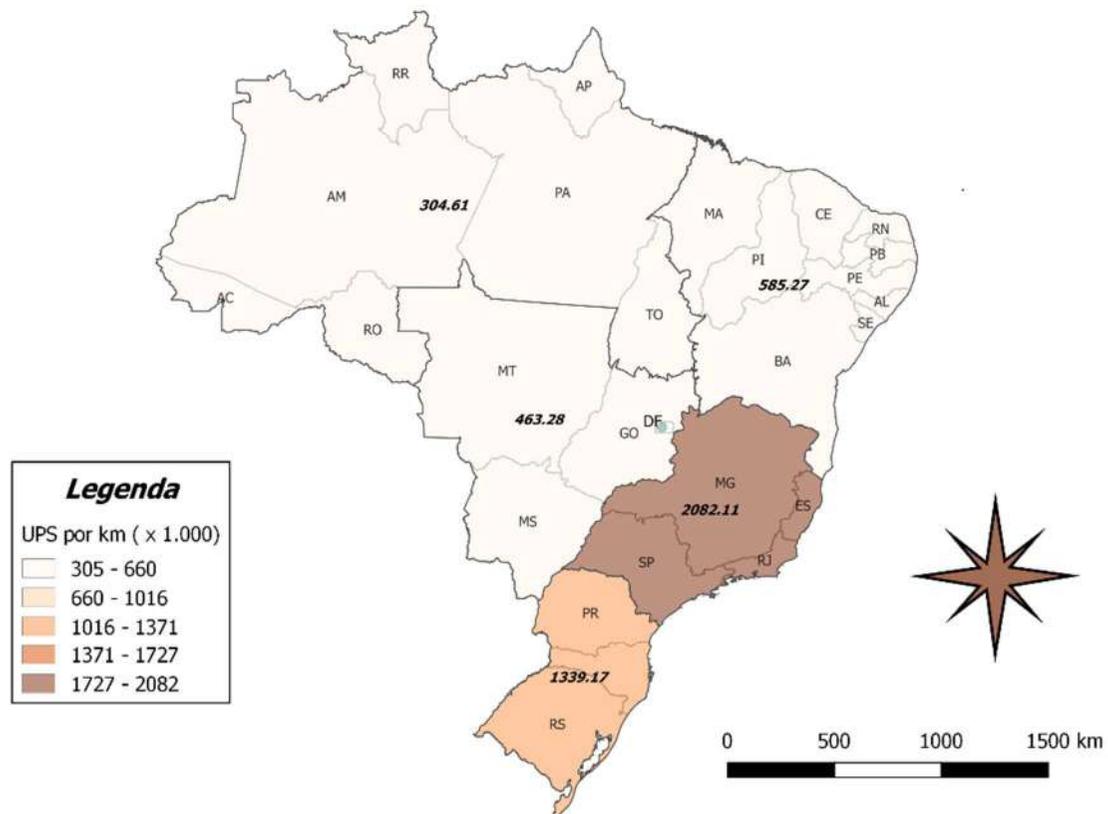
As figuras 5.20 e 5.21 representam, respectivamente, tratamento similar, diferenciado somente por tratar-se da série do total de acidentes por km.



**Figura 5-20 – UPS (mil) por quilômetro nos trechos de medição de VDMA (2009) x IDH-M (2010), por Região.**

**Fontes: PRF (2010) e IBGE (2010). Adaptado pelo autor**

**Um mil UPS nas rodovias federais, por km e por Região no ano de 2009**



**Figura 5-21 - Mapa do Brasil UPS por quilômetro, por Regiões**

Fontes: PRF (2010). Adaptado pelo autor

A exemplo do que já se apresentou nas análises anteriores, pelo gráfico é possível observar que no caso dos UPS rateados pela extensão dos trechos onde houve medição de VDMA, há uma correlação entre os acidentes e o IDH-M em todas as Regiões do Brasil, ou seja, tomando por base os dados trabalhados, relativos ao ano de 2009, é razoável afirmar que quanto maior for o IDH-M será proporcionalmente maior o Índice de Severidade dos Acidentes nestas Regiões.

Julga-se oportuno observar que todos os mapas relacionados aos acidentes tiveram seus valores rateados pela extensão do trecho onde houve medição de VDMA (2009), é coerente a afirmar que há uma correlação entre os acidentes e o IDH-M nas Regiões Norte, Sudeste e Sul, ou seja, quanto maior o IDH-M será proporcionalmente maior o número de acidentes e sua severidade nas três Regiões.

Uma primeira análise, permite inferir que, o maior índice de acidentes nas regiões mais ricas sugere um maior volume de veículos circulando e por isso uma maior intensidade de acidentes, porém os dados utilizados, referem-se à trechos de rodovias federais, com predominância de áreas rurais, além disso não foi feita uma segmentação dos veículos envolvidos para entender qual seria a relação percentual de veículos de dentro e fora das Regiões.

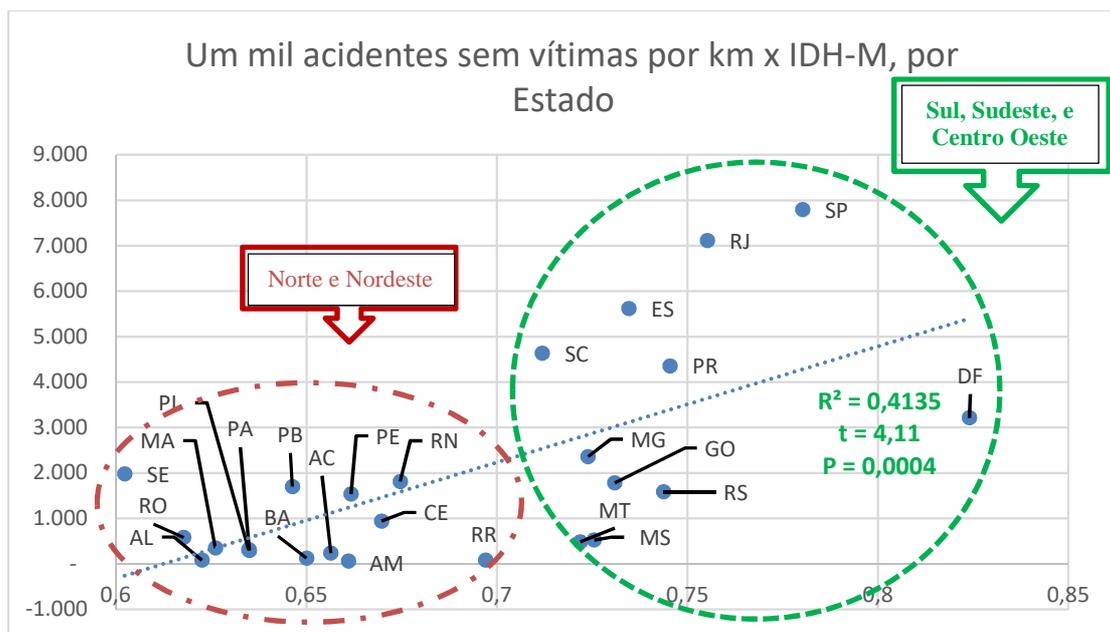
Numa tentativa de buscar por um parâmetro que relacionasse o poder de renda da Região com os acidentes, buscou-se pelos indicadores de idade média dos veículos envolvidos em acidentes por região, comparando-se com a classificação dos acidentes e com o IDH-M, observou-se uma relação inversa entre o IDH-M e a idade média dos veículos, ou seja a idade média maior dos veículos envolvidos em acidentes com IDH-M maior e vice-versa. Esta “incoerência” sugere um maior detalhamento dos cenários e até mesmo a confirmação da procedência dos veículos antes de qualquer conclusão, tendo em vista a total falta de informações complementares que permitam uma conclusão clara, fizeram com que esta análise não seja considerada no presente trabalho.

### **5.5.2 O tratamento por Estado**

Será feita uma nova consolidação das informações, desta feita por Unidade da Federação, porém como agora a amostragem é maior (são 23 estados), é possível agora utilizar modelagem matemática básica que permita, por exemplo, conhecer a equação da linha de tendência linear e o seu coeficiente de correlação de Pearson ( $R^2$ ).

Outra variação que será introduzida neste tópico é que os acidentes passarão a serem analisados por sua incidência por quilômetro. Considerando que os valores obtidos poderiam se mostrar com pouca significância, estes serão multiplicados por 1.000. Assim, será buscada uma solução matemática e gráfica que permita perceber a correlação entre o IDH-M e os acidentes por quilômetro ( $\times 10^3$ ), para que se possa avaliar se há alguma alteração significativa na qualidade dos resultados e principalmente a existência de correlações positivas.

As figuras 5.22; 5.23; e 5.24 representam, respectivamente o gráfico relacionando o IDH-M de 2010, com os acidentes sem vítimas por quilômetro, ocorridos nos trechos com medições do VDMA, durante o ano de 2009 com a equação que melhor representa o gráfico e o  $R^2$  (0,42) da melhor correlação obtida pela equação linear; o mapa com a distribuição do IDH-M por estado e os índices de acidentes sem vítimas observados nos mesmos trechos.



**Figura 5-22 – Mil acidentes sem vítimas por quilômetro nos trechos de medição de VDMA (2009) x IDH-M (2010), por Estado.**

**Fontes: PRF (2010) e IBGE (2010). Adaptado pelo autor**

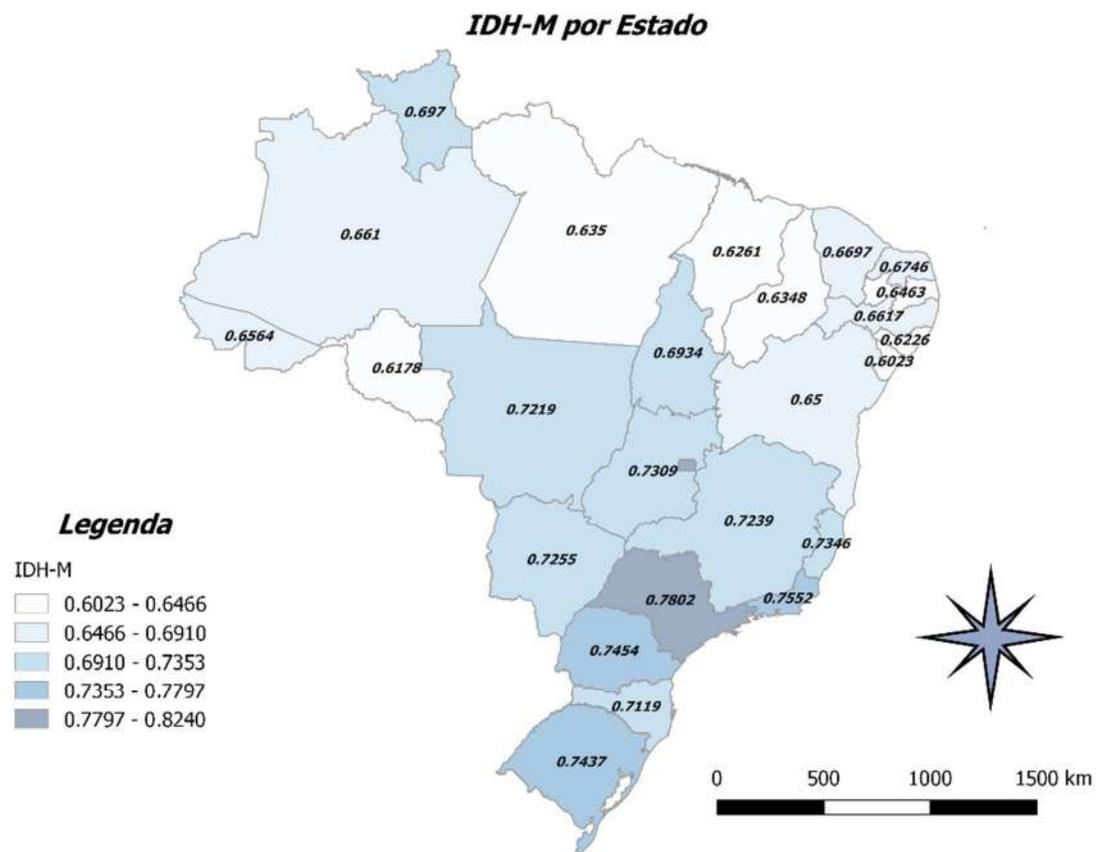
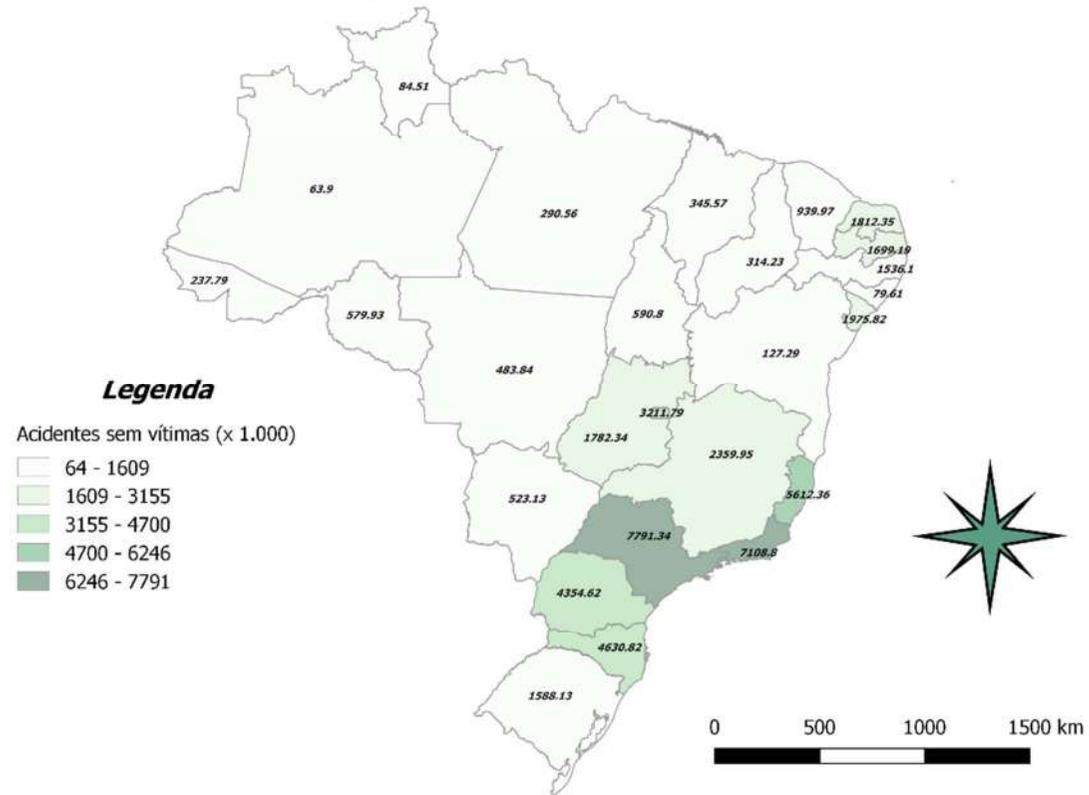


Figura 5-23 - Mapa do Brasil com o IDH-M por Estado

Fonte: IBGE (2010). Adaptado pelo autor

**Um mil acidentes sem vítima por km, nas rodovias federais, por Estado, no ano de 2009**

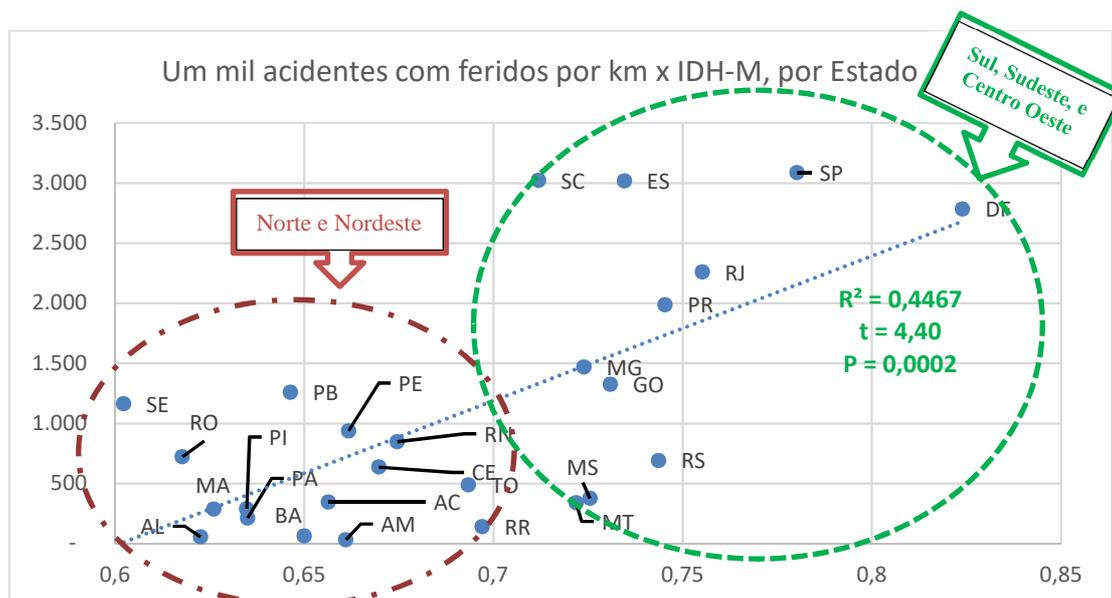


**Figura 5-24 - Mapa do Brasil mil acidentes sem vítima por quilômetro, por Estado**

Fontes: PRF (2010). Adaptado pelo autor

O Gráfico permite perceber a polarização dos dados relacionados às regiões Norte e Nordeste (menor IDH-M) aos menores índices de acidentes sem vítimas ao contrário das regiões Sul, Sudeste e Centro Oeste, com a concentração dos maiores indicadores de acidentes sem vítimas por quilômetro, nas regiões com um maior IDH-M. Analisando os mapas (figuras 5.23 e 5.24), percebe-se uma grande correlação entre os dados dos estados mais pobres e a menor incidência de acidentes sem vítimas e os estados mais ricos e a maior incidência deste mesmo tipo de acidentes, o que confirma o que foi representado no gráfico.

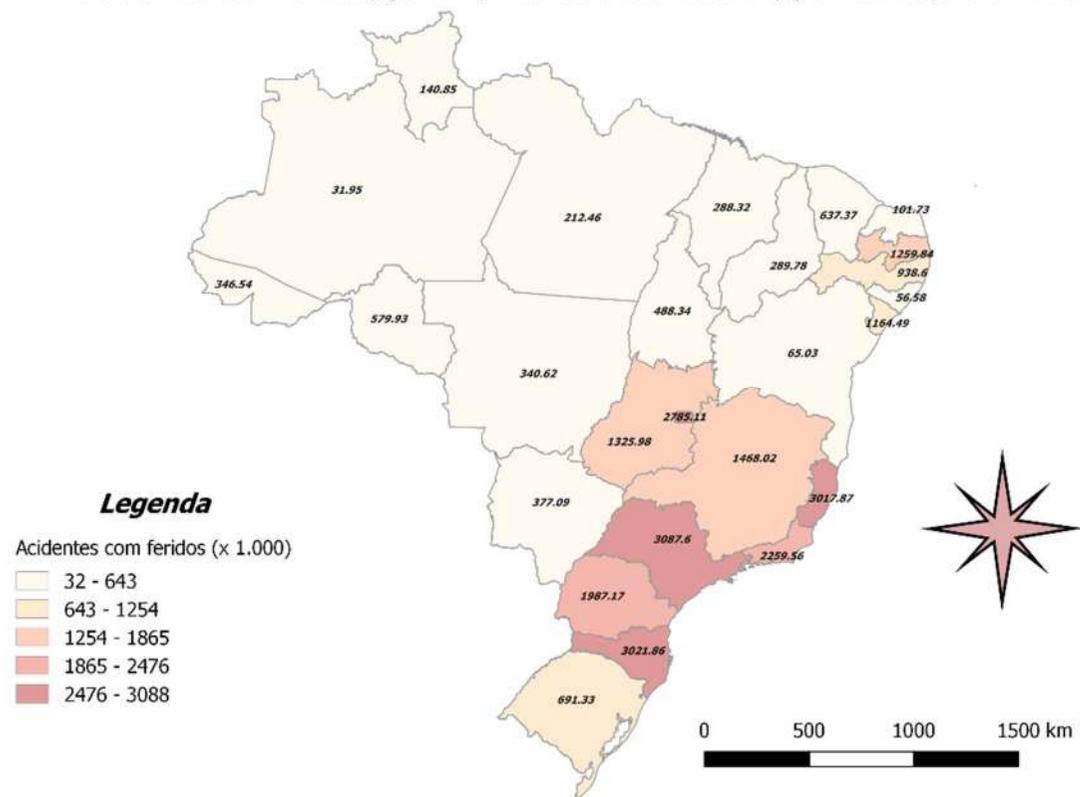
As figuras 5.25; 5.22; e 5.26 representam, respectivamente o gráfico relacionando o IDH-M de 2010, com os acidentes com feridos por quilômetro, ocorridos nos trechos com medições do VDMA, durante o ano de 2009 com a equação que melhor representa o gráfico e o  $R^2$  (0,4467) da melhor correlação obtida (neste caso utilizou-se equação linear); o mapa com a distribuição do IDH-M por estado e os índices de acidentes com feridos por quilometro observados nos mesmos trechos.



**Figura 5-25 – Mil acidentes com feridos por quilômetro nos trechos de medição de VDMA (2009) x IDH-M (2010), por Estado.**

Fontes: PRF (2010) e IBGE (2010). Adaptado pelo autor

**Um mil acidentes com feridos, por km, nas estradas federais, por Estado, no ano de 2009**



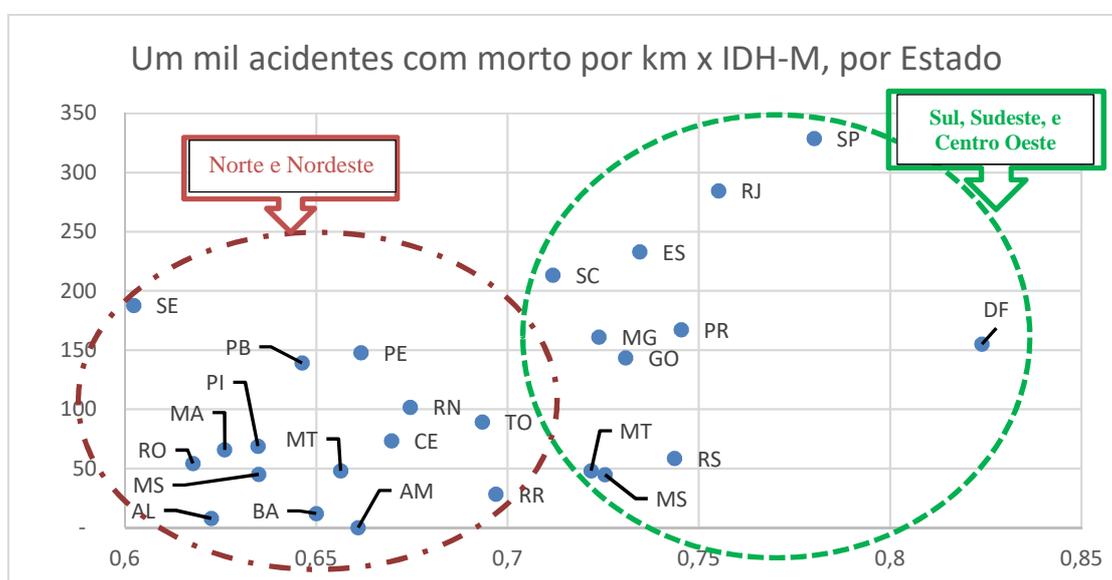
**Figura 5-26 - Mapa do Brasil mil acidentes com feridos por quilômetro, por Estado**

Fontes: PRF (2010). Adaptado pelo autor

Analisando as figuras anteriores percebe-se novamente a existência de uma correlação entre os estados mais pobres e a menor incidência de acidentes com vítimas e os estados mais ricos e a maior incidência deste mesmo tipo de acidentes.

A fim de que se possa analisar de forma mais completa este relacionamento, estas mesmas comparações serão refeitas desta vez tomando por base os acidentes com morto, o total de acidentes e a UPS, todos por quilometro dos trechos.

A figura 5.27 representa o gráfico relacionando o IDH-M de 2010, com os acidentes com morto por quilômetro, ocorridos nos trechos com medições do VDMA, durante o ano de 2009, com a equação que melhor representa o gráfico.



**Figura 5-27 – Mil acidentes com morto por quilômetro nos trechos de medição de VDMA (2009) x IDH-M (2010), por Estado.**

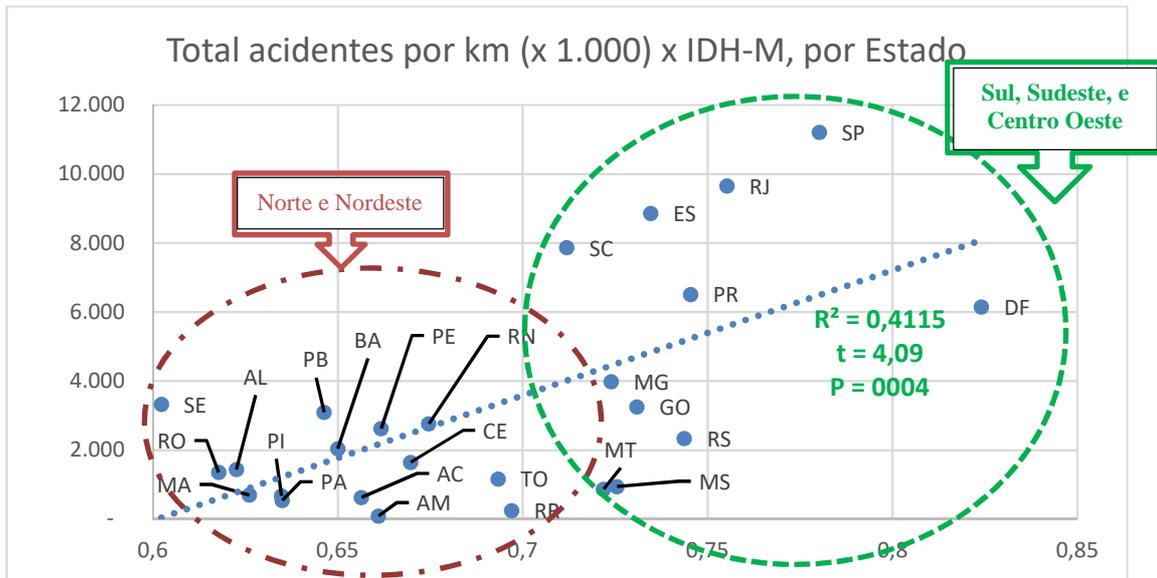
**Fontes: PRF (2010) e IBGE (2010). Adaptado pelo autor**

Pode-se observar que este indicador é pouco significativo, e, portanto, que para o tratamento dos dados de acidentes com morto, estas análises são questionáveis razão pela qual, não serão feitos os respectivos mapas comparativos.

Porém, não seria totalmente incoerente a afirmar que, a exemplo do que já foi observado nas duas análises anteriores por estados, observa-se uma tendência de aumento de acidentes proporcionalmente ao aumento do IDH-M nas mesmas Regiões.

As figuras 5.28; 5.22; e 5.29 representam, respectivamente, o gráfico relacionando o IDH-M de 2010, com o total de acidentes por quilômetro ocorridos nos trechos onde ocorreram

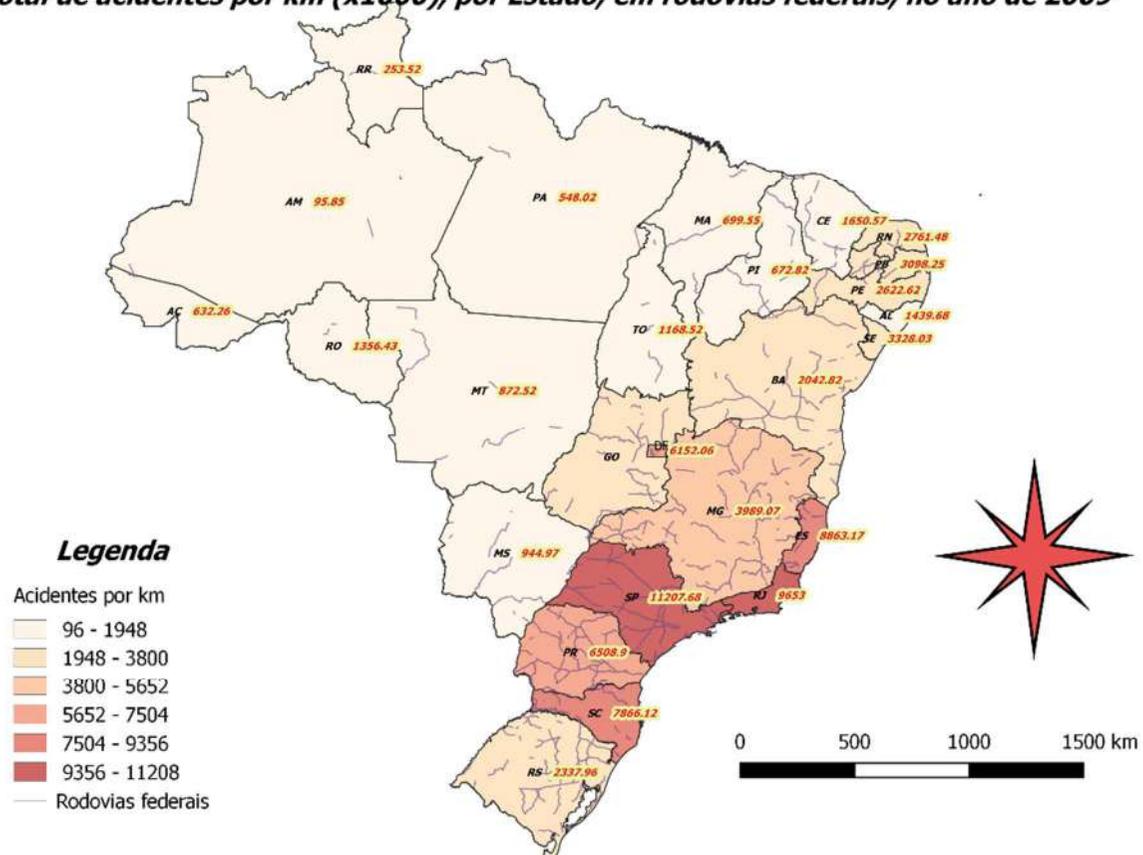
medições do VDMA, durante o ano de 2009 com a equação que melhor representa o gráfico e o  $R^2$  (0,4115), neste caso utilizou-se equação linear e o mapa com a distribuição do IDH-M por estado e os índices com o total de acidentes por quilômetro observados nos mesmos trechos.



**Figura 5-28 – Total de acidentes por quilômetro (x 1.000) nos trechos de medição de VDMA (2009) x IDH-M (2010), por Estado.**

**Fontes: PRF (2010) e IBGE (2010). Adaptado pelo autor**

**Total de acidentes por km (x1000), por Estado, em rodovias federais, no ano de 2009**



**Figura 5-29 - Mapa do Brasil total de acidentes por quilômetro (mil), por Estado**

Fonte: PRF (2010). Adaptado pelo autor

Analisando as figuras anteriores percebe-se novamente a polarização dos dados relacionados às regiões Norte e Nordeste nos pontos de menor IDH-M aos menores índices de acidentes sem vítimas e as das regiões Sul, Sudeste e Centro Oeste, indicando a concentração nos maiores indicadores de acidentes sem vítimas por quilômetro, nas regiões com um maior IDH-M. Analisando os mapas (figuras 5.22 e 5.29), percebe-se novamente, uma grande coerência dos dados dos estados mais pobres e a menor incidência de acidentes sem vítimas e os estados mais ricos e a maior incidência deste mesmo tipo de acidentes, o que confirma o que foi representado no gráfico e o que já havia sido verificado nas análises anteriores dos tratamentos destes dados por Regiões. As figuras 5.30; 5.22; e 5.31 representam, respectivamente, o gráfico relacionando os IDH-M de 2010, com as UPS por quilômetro nos trechos onde ocorreram medições do VDMA, durante o ano de 2009 com a equação que melhor representa o gráfico e o  $R^2$  (0,41), neste caso utilizou-se novamente equação linear; o mapa com a distribuição do IDH-M por estado e as UPS observados nos mesmos trechos.

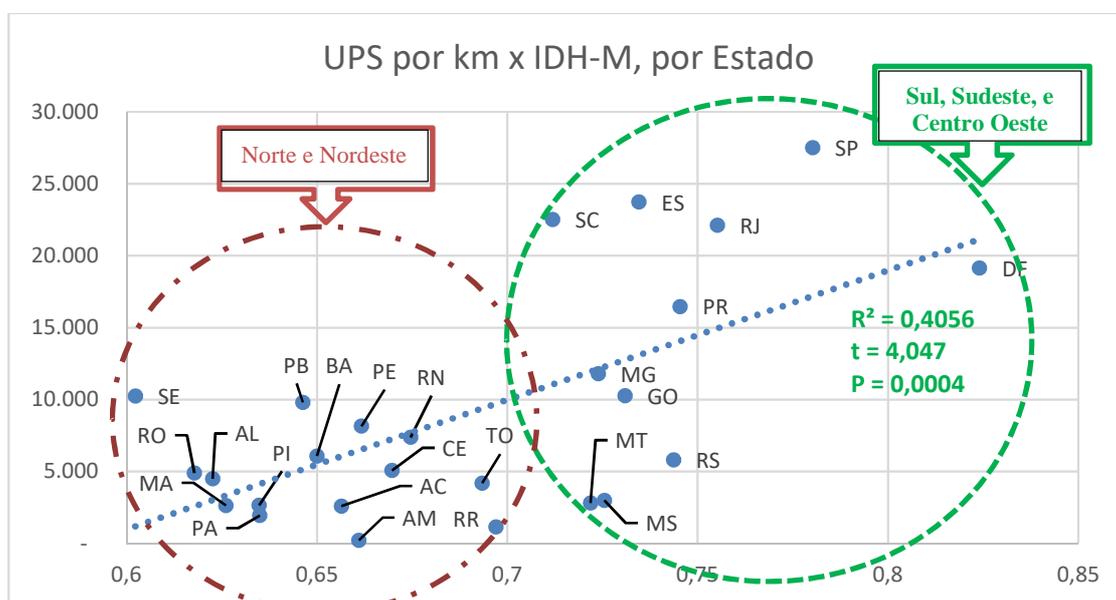
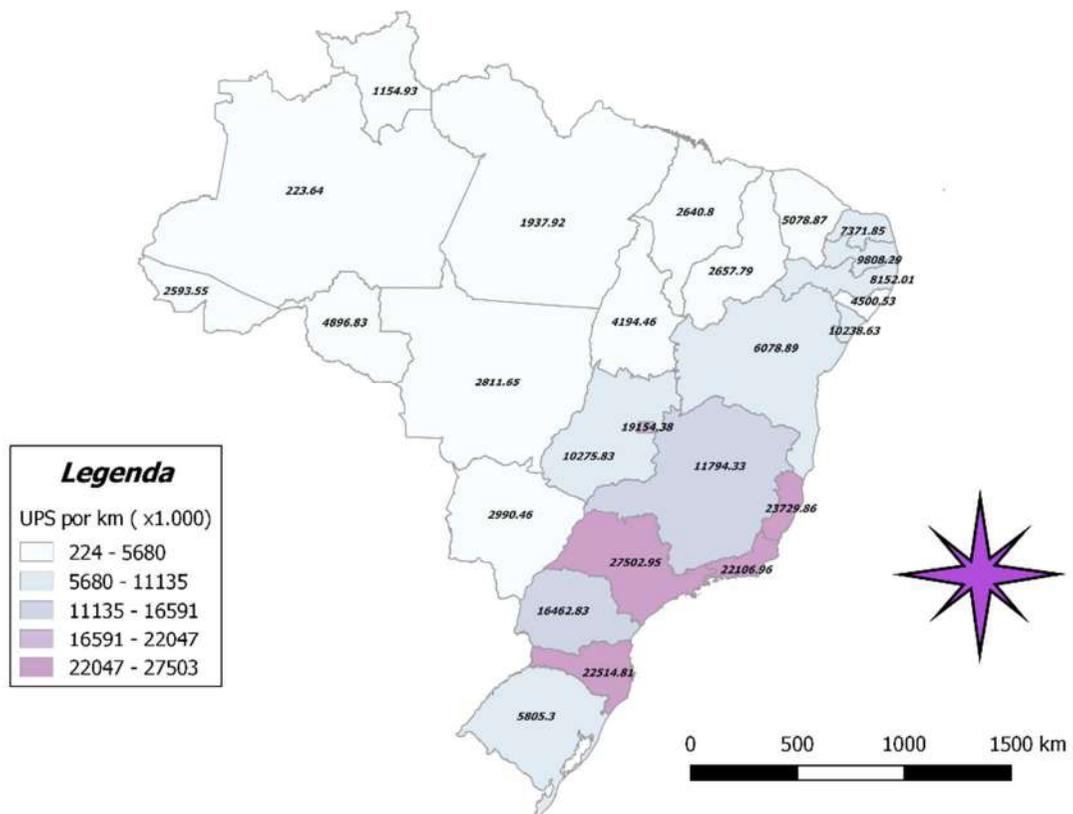


Figura 5-30 – UPS por quilômetro nos trechos de medição de VDMA (2009) x IDH-M (2010), por Estado.

Fontes: PRF (2010) e IBGE (2010). Adaptado pelo autor

**Um mil UPS, por km, nas estradas federais, por Estado, no ano de 2009**



**Figura 5-31 - Mapa do Brasil UPS por quilômetro, por Estado**

Fontes: PRF (2010). Adaptado pelo autor

Analisando as figuras anteriores percebe-se novamente a polarização dos dados relacionados às regiões Norte e Nordeste nos pontos de menor IDH-M as menores UPS por quilômetro das regiões Sul, Sudeste e Centro Oeste, indicando a concentração nas maiores UPS por quilômetro, nas regiões com um maior IDH-M. Analisando os mapas (figuras 5.22 e 5.31) percebe-se novamente, uma grande coerência dos dados dos estados mais pobres e a menor incidência de acidentes sem vítimas e os estados mais ricos e a maior incidência deste mesmo tipo de acidentes.

Assim, no tocante à análise dos acidentes por quilômetro, nos trechos de rodovias federais destes estados, comparativamente ao IDH-M por estado, considera-se a partir das análises e conclusões anteriores, que é pertinente afirmar-se que existe uma correlação entre os estados mais pobres e a UPS por quilômetro menor e os estados mais ricos e a maior incidência deste mesmo tipo de acidentes, o que confirma o que foi representado no gráfico e o que já havia sido verificado nas análises anteriores dos tratamentos destes dados por Regiões.

### **5.5.3 O tratamento por Região Metropolitana**

Será feita uma nova consolidação das informações, desta feita por Região Metropolitana (RM) relacionada aos trechos das rodovias federais, como forma de identificar se é significativa a concentração de acidentes pela proximidade de grandes centros urbanos, como sugeriram as figuras observadas anteriormente.

Para este trabalho tomou-se por base a classificação das cidades que compõem cada uma das RM (apêndice B) e uma nova base de dados obtida junto à PRF, que dispõe de dados complementares da ocorrência como, por exemplo, a cidade onde ocorreu no ano de 2009, os cerca de 185 mil acidentes. Assim, partir desta seleção foi calculado o IDH-M de cada uma das regiões a partir do rateio dos IDH-M de cada uma das cidades proporcionalmente ao total das populações. Em seguida toda a base foi reclassificada, de forma a consolidar os acidentes nas áreas das 25 RM, onde havia medição de VDMA e acidentes em rodovias federais registrados.

Fazendo-se uma análise detalhada dos dados do mapa disponível no site do DNIT (arquivo shp “rodovias federais brasileiras”), foi possível notar que dele também constam as vias estaduais e municipais, e por essa razão foi necessária uma triagem manual cuidadosa para eliminar estes trechos para que não influenciassem no rateio por km

pretendido para esta fase do trabalho. Com o uso da ferramenta “soma dos comprimentos das linhas” do software QGIS®, foi possível obter a extensão total dos segmentos das rodovias federais que compõem os trechos onde foram realizadas medições do VDMA. Haja vista que os resultados foram obtidos em graus de coordenadas geográficas, os números foram multiplicados por 60 para que fossem convertidos em minutos (de latitude), que é a unidade de conversão para a milha náutica e então multiplicado por 1,862 que é a unidade de conversão para quilômetros. Desta forma, foram calculadas as extensões dos trechos das rodovias federais inseridos nestas regiões, bem como, foram gerados, através de um rateio dos acidentes e da sinistralidade por km, os indicadores de acidentes por quilômetro, por Região Metropolitana. Estes indicadores foram comparados com o IDH-M de cada Região.

Em seguida foram inicialmente expurgados as RM onde não foram registrados acidentes pela PRF e foram excluídos ainda dois trechos que estavam criando uma excessiva distorção dos dados:

1. Belém – apesar de ter um comprimento total de somente 31,35 km de rodovias federais, por possuir um número elevado de acidentes registrados, gerou um indicador muito desproporcional aos outros números obtidos nas outras RM;
2. RM Carbonífera (composta por 10 cidades 30 km) apesar de ser uma Rodovia Federal tem cerca de 90% de seu trecho sob a jurisdição Municipal de duas cidades (Criciúma e Içara) e nenhum acidente registrado nos 10% restantes.

Assim, restaram vinte e três Regiões Metropolitanas e com este novo tratamento, pretende-se reduzir a dispersão dos dados, haja vista que os trechos de rodovias federais objeto deste estudo representam áreas desprezíveis, quando comparadas às áreas das regiões e dos Estados.

Desta forma, será buscada uma solução matemática e gráfica que permita perceber a correlação entre o IDH-M e os acidentes por quilômetro no trecho, para que possa avaliar se há alguma alteração significativa na qualidade dos resultados e principalmente a existência de correlações positivas.

A figura 5.32 representa o mapa com a distribuição do IDH-M por Região Metropolitana.

Mapa IDH-M por Região Metropolitana

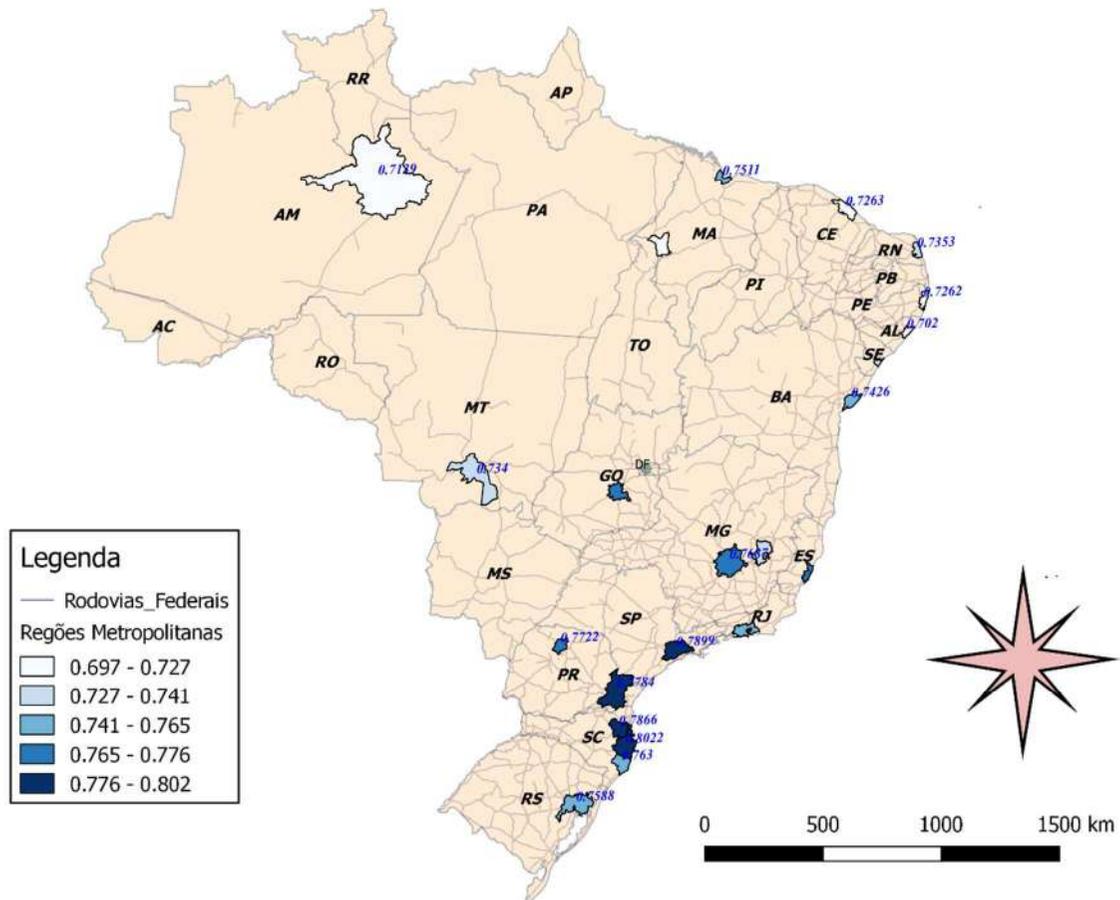


Figura 5-32 - Mapa do Brasil com o IDH-M por Região Metropolitana

Fonte: IBGE (2010). Adaptado pelo autor

Na figura 5.32 é possível observar que as Regiões Metropolitanas com os maiores IDH-M estão concentradas nas Regiões Sul, Sudeste e Centro Oeste, contrastando com os índices das Regiões Norte e Nordeste. Estes dados serão relevantes para as análises que serão feitas a seguir.

As figuras 5.33 e 5.34 representam respectivamente a representação gráfica da comparação entre a quantidade de acidentes sem vítimas, por quilômetro de rodovia federal, nas áreas das RM e a plotagem dos índices de acidentes por quilômetro nas RM. Observa-se, da mesma forma do que já ocorrera nas análises anteriores por Regiões e Estados uma clara concentração dos maiores indicadores de acidentes nas RM com maiores IDH-M. As exceções ficam por conta dos números relacionados às Regiões do Vale do Aço em Minas Gerais e Rio Cuiabá no Mato Grosso, por conta dos baixos indicadores do IDH-M, que mais se aproximam dos números das Regiões mais pobres do Brasil.

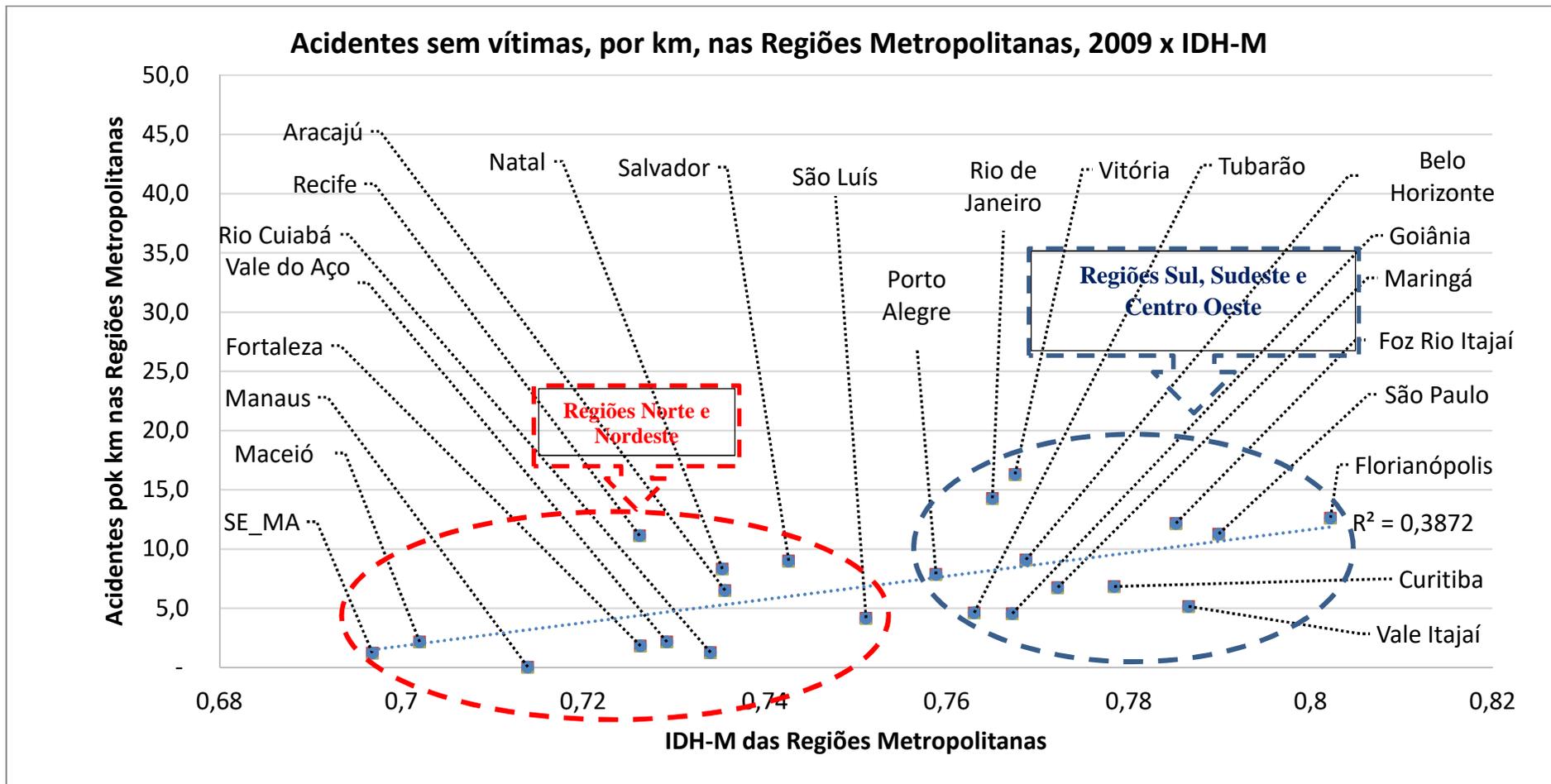


Figura 5-33 – Acidentes sem vítimas, por quilômetro, em rodovias federais no ano de 2009 x IDH-M, por Região Metropolitana

Fonte: DNIT (2010), PRF (2010) e IBGE (2010). Adaptado pelo autor

**Acidentes sem vítimas, por km, nas rodovias federais brasileiras, em 2009, por Região Metropolitana**

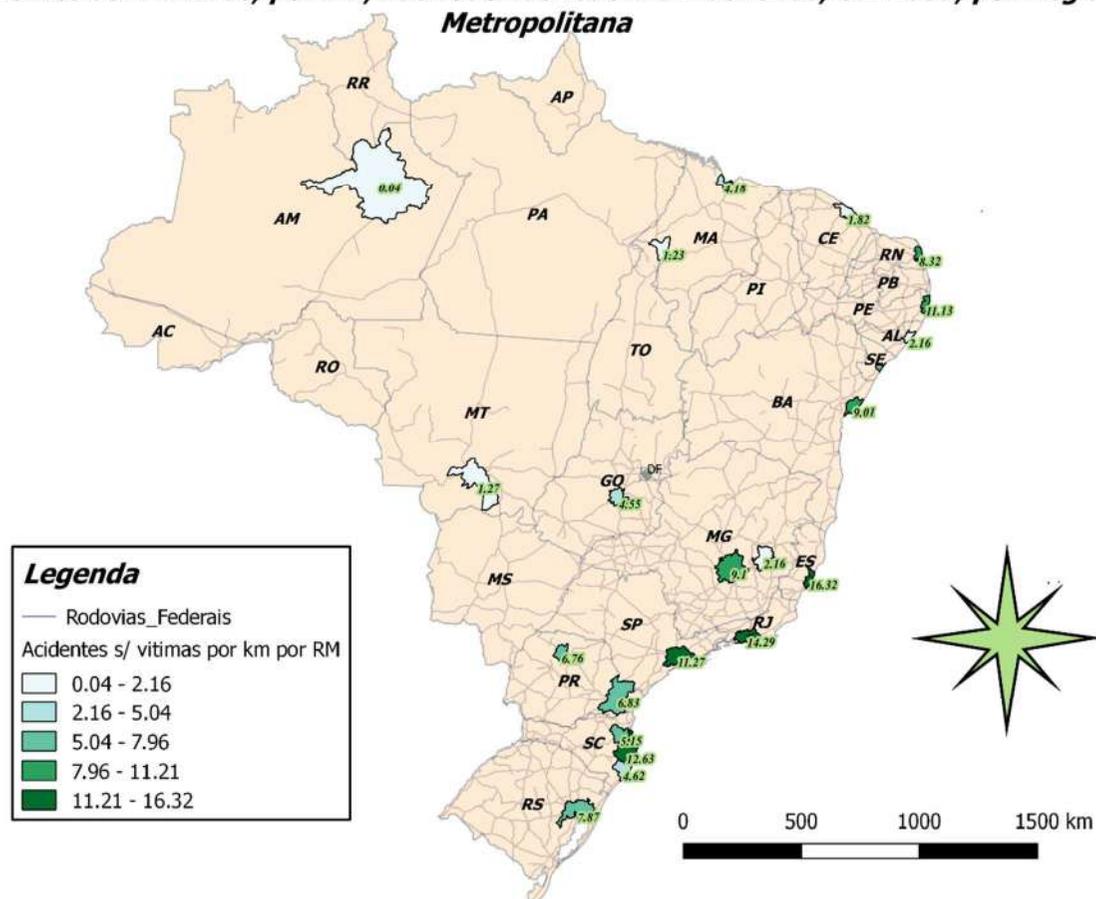


Figura 5-34 – Mapa de acidentes sem vítimas por quilômetro, nas Regiões Metropolitanas, ocorridos no ano de 2009, em rodovias federais.

Fonte: PRF (2010), DNIT (2010) e IBGE (2010). Adaptado pelo autor

Pela figura anterior é possível observar a excessiva concentração dos acidentes por quilômetro nas Regiões Sul e Sudeste, justamente aquelas com os maiores IDH-M.

Em seguida será feito o tratamento dos dados, porém levando em consideração as informações consideradas as mais relevantes para o presente estudo, no caso os totais dos acidentes e as UPS's por RM.

As figuras 5.34 e 5.35 apresentam as informações relativas aos totais de acidentes por quilômetro.

Observa-se novamente uma clara distribuição dos indicadores dos acidentes de forma quase simétrica aos que já havia ocorrido nas análises por Regiões e por Estados, com uma proporcionalidade direta aos IDH-M das Regiões e Estados. Julga-se oportuno observar que as Regiões Metropolitanas do Vale do Aço e Rio Cuiabá fogem desta regra, pois apesar de pertencerem à Regiões com elevado IDH-M, na realidade possuem indicadores desproporcionalmente menores, o que como uma consequência natural as deslocaria para as áreas de menor IDH-M, mas ao contrário do que seria esperado seus índices de acidentes por quilômetro são menores que as “Regiões Metropolitanas coirmãs”, o que sugere que realmente há uma correlação forte entre os IDH-M mais baixos com menores o totais de acidentes por quilômetro.

Outro aspecto relevante é o  $R^2 = 0,43$ , que foi obtido e que pode ser considerado bem coerente com os demais coeficientes trabalhados no presente estudo.

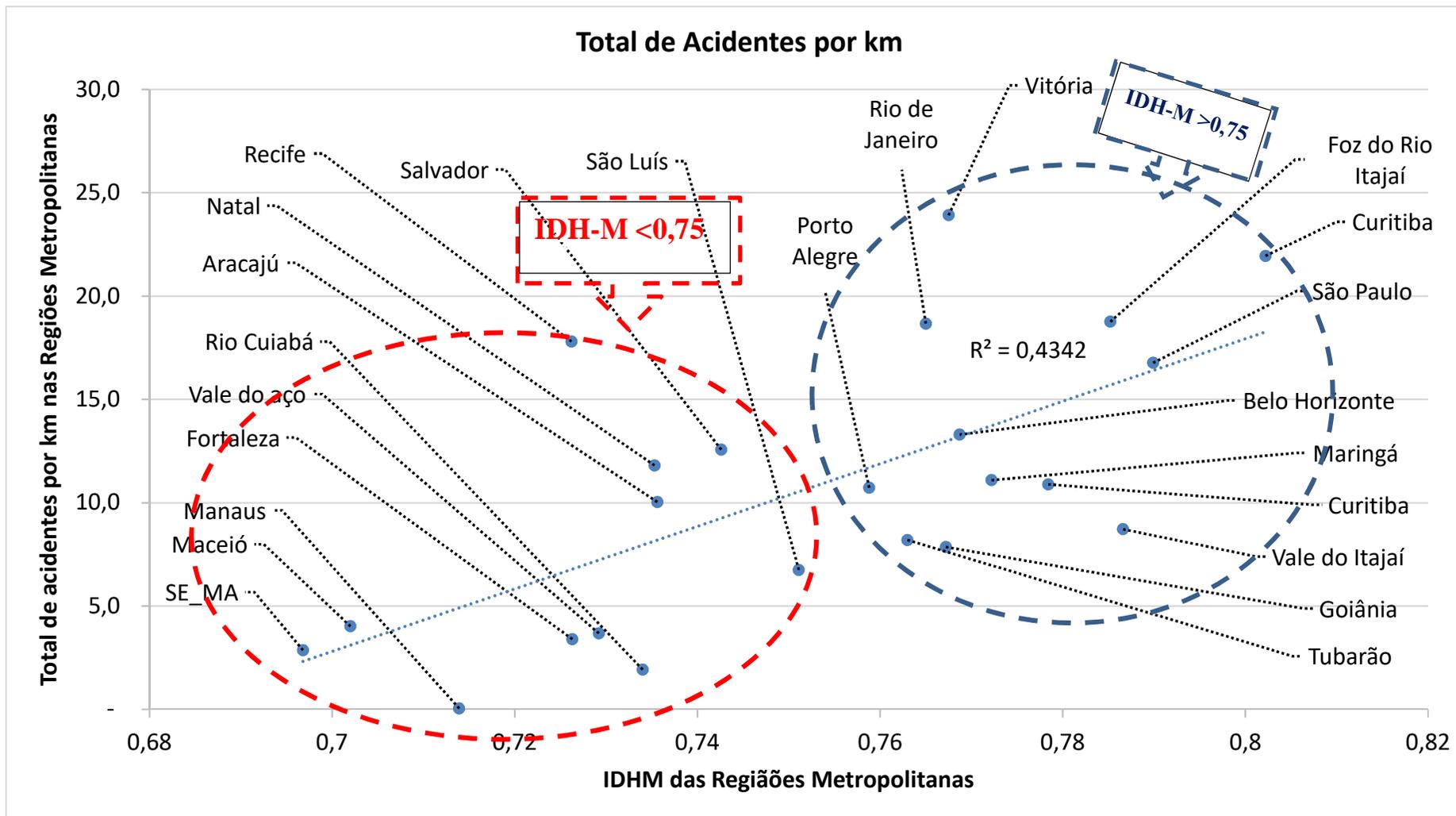
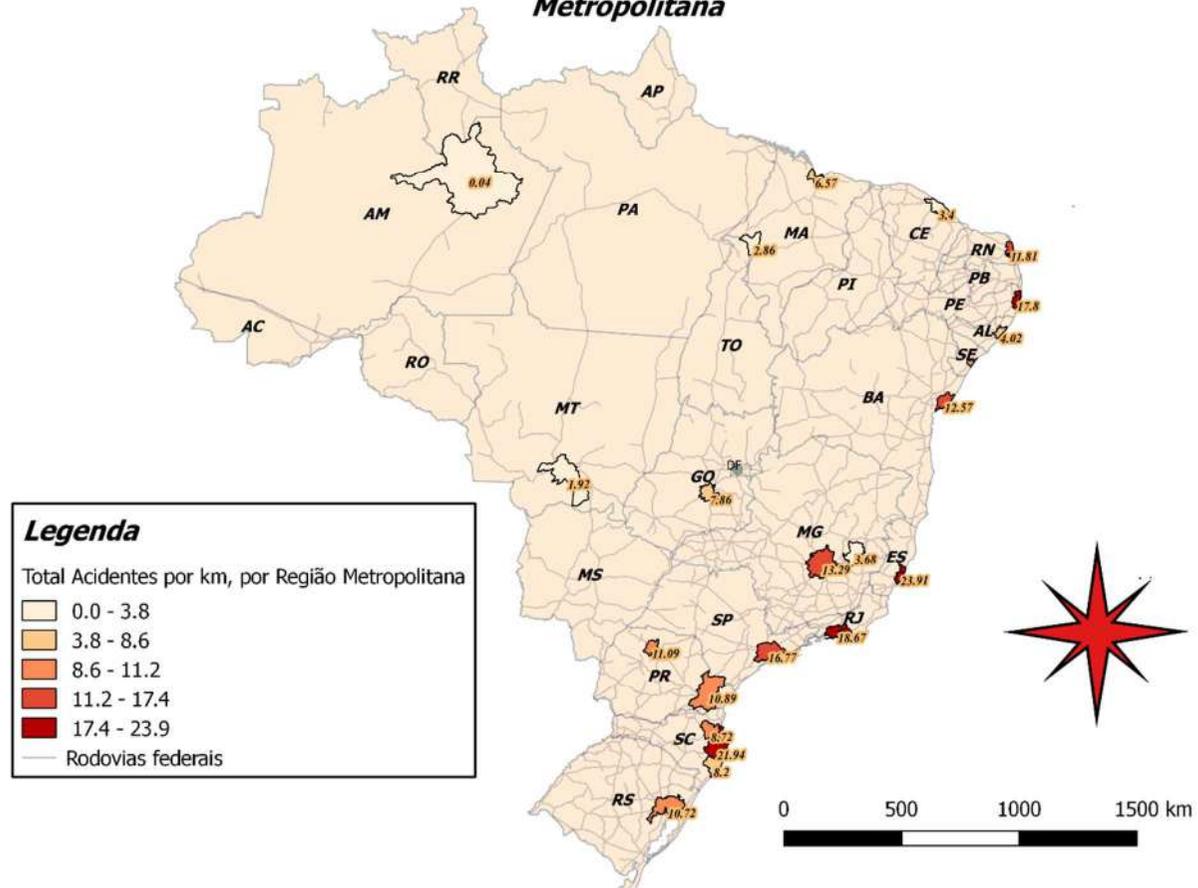


Figura 5-35 – Total de acidentes por quilômetro em rodovias federais no ano de 2009 x IDH-M, por Região Metropolitana

Fonte: DNIT (2010), PRF (2010) IBGE (2010). Adaptado pelo autor

**Total de Acidentes por km, em rodovias federais, no ano de 2009, por Região Metropolitana**



**Figura 5-36 - Mapa do total de acidentes por quilômetro, nas Regiões Metropolitanas, ocorridos no ano de 2009, em rodovias federais.**

Fonte: PRF (2010), DNIT (2010) e IBGE (2010). Adaptado pelo autor

Ratificando o que foi apresentado, a figura 5.35 apresenta a distribuição geográfica do total de acidentes por quilômetro, onde é possível perceber a sua concentração nos Estados das Regiões Sul e Sudeste, excetuando apenas as Regiões Metropolitanas de Belém e Recife que apresentam um expressivo indicador.

Finalmente será refeita a apresentação dos dados, desta feita considerando a UPS nas Regiões metropolitanas, conforme as figuras 5.37 e 5.38.

Apesar da mudança de indicador, pode-se observar que não houve alteração significativa no formato dos dados apresentados e que mais uma vez fica confirmada a associação dos maiores IDH-M com as maiores UPS por quilômetro, e vice-versa (inclusive nas Regiões Metropolitanas do Vale do Aço, Norte do Rio Grande do Sul e Rio Cuiabá), tendo -se obtido um  $R^2 = 0,46$ , que pode ser considerado bem coerente com os demais coeficientes obtidos no presente estudo e que sugere que esta correlação não se trata de uma influência regional ou cultural, mas econômica e social.

A figura 5.38 apresenta os mesmos dados plotados sobre o mapa.



**UPS por km, em rodovias federais brasileiras, em 2009, por Região Metropolitana**

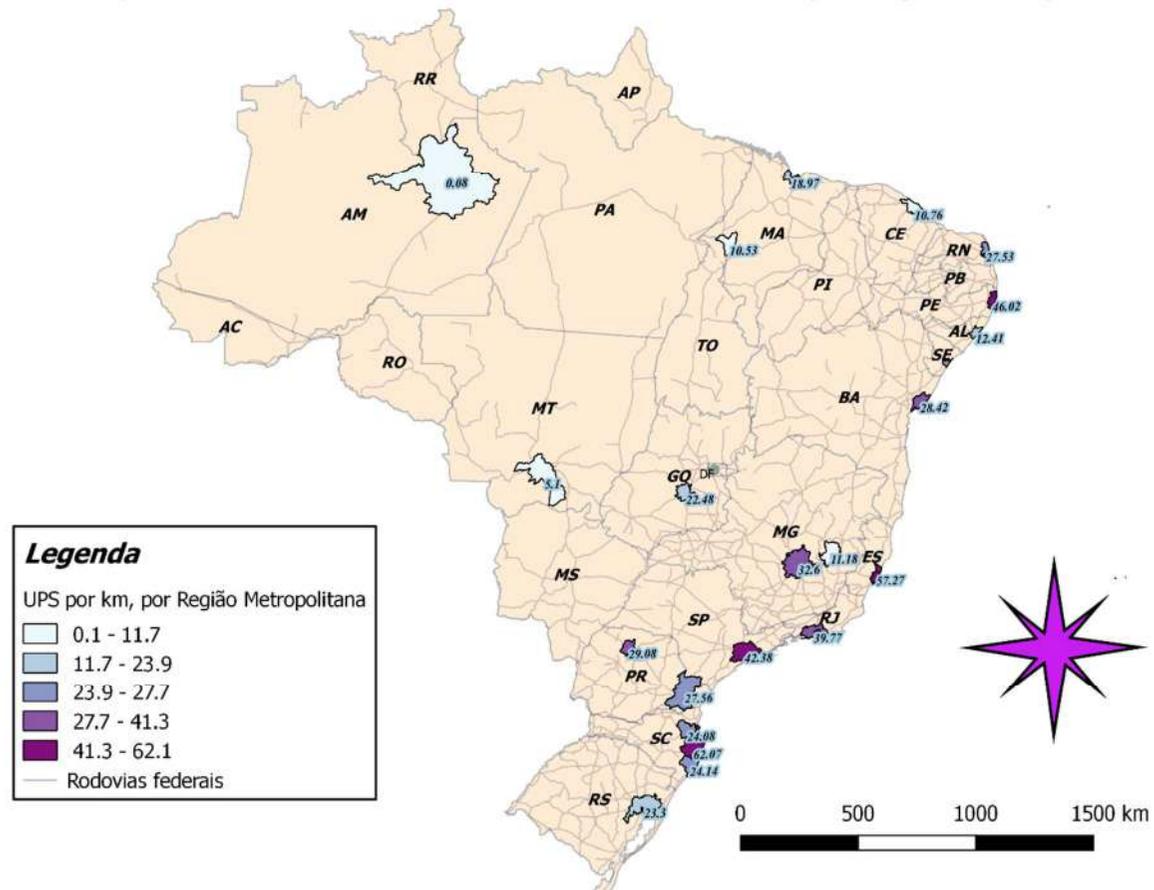


Figura 5-38 - Mapa UPS por quilômetro, nas Regiões Metropolitanas, ocorridos no ano de 2009, em rodovias federais.

Fonte: PRF (2010), DNIT (2010) e IBGE (2010). Adaptado pelo autor

Tomando-se por base as figuras anteriores é possível supor, com razoável grau de certeza que há uma tendência clara de ocorrência de uma maior quantidade de acidentes e que seus índices de severidade sejam maiores nas RM com maiores IDH-M, confirmando o que já foi apresentado anteriormente para as Regiões e Estados.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O maior desafio desta tese foi trabalhar a partir de bases de dados fragmentadas e disponíveis em formatação incompatível com qualquer tentativa de análise, consolidação ou tratamento. A superação deste desafio, se transformou no ponto de partida para o objetivo que foi o desenvolvimento de uma metodologia de análise e previsão de quantidades e gravidade dos acidentes de trânsito, tomando como base as ocorrências registradas pela Polícia Rodoviária Federal, nas rodovias federais brasileiras, durante o ano de 2009, com o tratamento matemático dos fatores relacionados.

As diferentes formas de associações e consolidações dos dados, ainda que de forma muito resumida, demonstra claramente o ganho qualitativo que pode ser feito na redução dos acidentes, caso essas bases passem a apresentar de forma aberta aos pesquisadores os fatores relacionados aos acidentes. Na falta desses dados de qualidade, optou-se por trabalhar com o que havia disponível.

Pesquisando em diferentes trabalhos publicados, observou-se que alguns convergiam para dados básicos relacionados ao volume de acidentes por segmentos de vias associados aos volumes de tráfego. Assim, buscou-se pela validação destes modelos a partir das informações disponíveis, porém buscando trazer alguns aspectos inovadores, como por exemplo, o tratamento do VDMA por faixa e o tratamento das extensões urbana e/ou rural dos trechos. Adicionalmente, foram incorporados os critérios de parametrização da severidade dos acidentes, que se mostraram extremamente oportunos e permitiram identificar os trechos com maior concentração das ocorrências, a partir de seus custos sociais.

Estas informações foram então segmentadas por Regiões, Estados e Regiões Metropolitanas do Brasil, como forma de permitir análises mais detalhadas sobre pontos concentradores de acidentes e correlações entre os dados trabalhados. Com isso foram obtidos coeficientes de correlação de Pearson bastante animadores para as diferentes análises matemáticas realizadas (VDMA por faixa x extensão dos trechos, VDMA por faixa x Variável lógica para o trecho 100% rural ou urbano, além de outras comparações entre as quantidades e severidades dos acidentes e o IDMH das Regiões, Estados e Regiões Metropolitanas).

O uso prioritário de software abertos ou de versões acadêmicas, ajudaram a reduzir os custos de pesquisa e desenvolvimento de soluções, o que contribuiu razoavelmente para

o sucesso da proposta. Como resultado, obteve-se um conjunto de informações que com o devido tratamento dos dados, permitiu chegar a modelos matemáticos que definem os relacionamentos das variáveis consideradas de maior relevância (as únicas viáveis a partir dos dados obtidos), nos trechos analisados.

Entende-se que o uso da presente metodologia, orienta critérios que permitem estabelecer uma hierarquia na execução de investigações, com maior nível de detalhamento dos fatores envolvidos em determinados trechos, a partir do elevado índice de correlação entre os parâmetros associados aos acidentes naqueles pontos de maior prevalência, resultando em uma ferramenta simples de predição de acidentes, com vistas a implementação de mecanismos de controle e sugestão de conduta preventiva, podendo refletir portanto, em uma menor ocorrência de acidentes de trânsito, ampliando e diversificando ainda mais a utilidade de tais informações.

Como resultados relevantes obtidos, a partir do tratamento da base de dados de acidentes registrados pela Polícia Rodoviária Federal e de VDMA do DNIT, do ano de 2009, pode-se citar a criação de um método de modelagem matemática que permite uma predição do número de acidentes esperados com um coeficiente de correlação de Pearson de 0,53 e de sua severidade em um determinado trecho com o coeficiente de 0,452, que se apresentam como números razoáveis para uma primeira tentativa de tratamento das informações e que pode ser considerado um ponto de partida para uma nova linha de pesquisa a ser aprofundada visando o seu aprimoramento.

A incorporação das ferramentas de tratamento geoespaciais, permitiram agregar aspectos tecnológicos que em muito enriqueceram o trabalho, especialmente no tocante à visualização geográfica dos segmentos e regiões com maior intensidade de acidentes, seja pela sua gravidade e/ou severidade.

Adicionalmente ao serem incorporados fatores socioeconômicos (IDH-M), foi possível elaborar um trabalho de confrontação dos dados de acidentes com os perfis de renda da população, contrariando de certa forma estudos anteriores que insistiam em sugerir maiores incidências de ocorrências em regiões mais pobres. No presente estudo, a comparação do número de acidentes e sua severidade quando confrontados os IDH-M, resultaram em coeficientes de correlação de Pearson bastante significativos em torno de 0,40, que evidenciaram que há uma correlação direta desses indicadores, comprovando que especialmente nos Estados e nas Regiões Metropolitanas, há uma maior incidência de acidentes e uma maior severidade, quanto maior é o indicador socioeconômico.

Julga-se oportuno comentar que, apesar da precariedade dos dados trabalhados, foi possível estruturar uma metodologia consistente de pesquisa, que deve ser encarada como um ponto de partida para novas possibilidades de tratamento. Caso no futuro seja possível ter acesso à uma base com maior diversidade de informações referentes aos fatores relacionados às ocorrências, recomenda-se o emprego de métodos sugeridos na bibliografia trabalhada nesta tese que pode ser considerada como razoavelmente rica para orientar os futuros pesquisadores sobre como proceder para conseguir modelos mais consistentes e assertivos. É sabido, porém que para a disponibilidade de uma base razoável, consolidando uma capacidade de análise pericial mínima por parte dos policiais e demais agentes públicos responsáveis pelos respectivos registros, indispensável para trabalhos futuros de melhor qualidade. Entende-se que isso exigirá investimentos maciços em equipamentos, sistemas integradores e o mais importante, a adequada capacitação dos profissionais envolvidos com as atividades de trânsito, socorro e registro das ocorrências. Como contribuição para trabalhos e pesquisas futuras, pretende-se tornar disponível as bases de dados resultantes do presente estudo em site, a ser definido pelo Programa de Engenharia de Transportes da COPPE-UFRJ.

Sugere-se portanto a criação de uma base de dados integrada para registro das ocorrências relacionadas aos acidentes, a partir de um padrão nacional, que permitiria um maior aprofundamento no tratamento dos dados dos acidentes, com o uso de ferramentas de análise, que associariam os fatores relacionados aos acidentes em cada um dos trechos e sua relevância no número de acidentes ocorridos num grande conjunto de períodos de anos (sugere-se no mínimo cinco, para que se tenha uma amostra razoavelmente representativa), criando assim, de forma minimamente confiável a identificação da prevalência dos fatores relacionados aos diferentes tipos de acidentes, em cada trecho de cada rodovia ao longo do país.

Entende-se que ao se estruturar uma metodologia de tratamento deste conjunto de informações, são criadas condições para por exemplo, uma central de monitoramento de tráfego, atuar de forma preventiva ou preditiva, sempre que os dados recebidos evidenciarem um risco acima de moderado, para a ocorrência de um acidente fatal.

Como sugestão de trabalhos futuros recomenda-se a busca pelos fatores relacionados aos acidentes e o tratamento dessas informações com vistas a serem obtidos modelos matemáticos de maior complexidade e conseqüentemente maior confiabilidade em que o resultado possa refletir principalmente a qualidade da predição de um acidente que mesmo que não possa ser evitado, mas que se possa ter reduzida a sua gravidade e como

resultado esperado diminua não só as ocorrências fatais, mas também os casos de invalidez tão onerosos para qualquer comunidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL-ATY, M., LEE J., SIDDIQUI, C., CHOI, K. Geographical unit based analysis in the context of transportation safety planning. **Transportation Research Part A**, v. 49, pp. 62-75, 2012.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, **Pesquisa de acidentes de trânsito – NBR10697**, 10 páginas, 1989
- ACKAAH W., SALIFU M., Crash prediction model for two-line rural highways in the shanti region of Ghana. **IT Research**, v. 35, pp. 34-40, 2011.
- ADREES, M. ABDALLA, A. e KARRAR, A., A Proposed Framework for Using GIS to Enhance Traffic Safety in Sudan: A Case Study, **American Journal of Traffic and Transportation Engineering**, V. 1(1), pp. 1-6, 2016.
- AMOH-GYIMAH, R., SABERI M., SARVI, M., The effect of variations in spatial units on unobserved heterogeneity in macroscopic crash models. **Analytic Methods in Accidents Research**. v. 13, pp. 28-51, 2017.
- ANDERSON, K. TESSA. Kernel density estimation and k-means clustering to profile road accident spots. **Accident Analysis and Prevention**. v. 41, pp. 359-364, 2009.
- ANSELIN, L. Space stat – user’s guide. **University of Illinois, Urbana - Champaign. Urbana, EUA.** Disponível em: <https://geodacenter.asu.edu/system/files/geodaworkbook.pdf>. Acesso em 25/08/2014, 2005.
- BAZQUEZ, C. e CELIS, M. A spatial and temporal analysis of child pedestrian crashes in Santiago, Chile. **Accident Analysis and Prevention**. v.50, pp. 304-311, 2013.
- BEHNOOD, A. e MANNERING, F., Determinants os bicyclist injury severities in bicycle-vehicle crashes: A random parameters approach with heterogeneity in means and variances. **Analytic Methods in Accidents Research**. v. 16, pp. 35-47, 2017.
- BERGEL-HAYAT, R., DEBRARH, M., ANTONIOU, C., YANNIS, G.. Explaining the road accident risk: weather effects. **Accident Analysis and Prevention**. v. 60, pp. 456-465, 2013.
- BERTRAZZO, A., CARDOSO, G., SAUERESSIG, M. Controladores eletrônicos de velocidade: metodologia para sua implementação e hierarquização dos trechos críticos. **CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 16**, Natal. Anais Natal: UFRN, v2, pp. 107-114, 2002.
- BRAGA, M. e TRINDADE, R. Evaluation of the road accident statistics provided on the websites of the brazilian state highway departments. **Conference Proceedings Road Safety on Four Continents**; v.1; 5 p., 2005.

- BRASIL, Código de Trânsito Brasileiro, Lei No. 9.503 de 23 de setembro de 1997.
- BUDDHAVARAPU, P., BANERJEE, A., PROZZI, J. Influence of pavement condition on horizontal curve safety. **Accident Analysis and Prevention**, v. 52, pp. 9-18, 2013.
- BRYDEN, K., CHARLTON, J., OXLEY, J., LOWNDES, G. Self-reported wayfinding ability of older drivers, **Accident Analysis and Prevention**, v. 50, pp. 277-282, 2013.
- CÂMARA, G., CARVALHO, M., CRUZ, O., CORREA, V., Análise espacial de áreas, em: análise espacial de dados geográficos. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – São José dos Campos, Brasil**, disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>, acesso em 23 de agosto de 2014.
- CHUNG, K., RUDJANAKANOKNAD, J., CASSIDY, M.J., Relation between traffic density and capacity drop at three freeway bottlenecks, **Transportation Research Part B-Methodological**, v. 41, pp. 82-95, 2007.
- CONTADOR, C. e OLIVEIRA, N., Estatísticas da dor e da perda do futuro: novas estimativas, **Escola Nacional de Seguros**, disponível em: <http://cpes.org/acervo/estatisticas-da-dor-e-da-perda-do-futuro-novas-estimativas/>, acesso em 26/06/2017, 29 p., 2015
- DAI D., Identifying clusters and risk factors of injuries in pedestrian-vehicle crashes in a GIS environment, **Journal of Transport Geography**, v. 24, pp. 206-214, 2012.
- DENATRAN [a] - Departamento Nacional de Trânsito – **SEMANA NACIONAL DO TRÂNSITO 2012**, Ministério das Cidades, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/campanhas/semana/2012/snt2012.htm>, acesso em: 19/05/2013.
- DENATRAN [b] - Departamento Nacional de Trânsito – **Anuário Estatístico do DENATRAN 2008**, Ministério das Cidades, Brasília, DF. Disponível em: [http://www.denatran.gov.br/download/frota/ANUARIO\\_2008.zip](http://www.denatran.gov.br/download/frota/ANUARIO_2008.zip), acesso em: 19/05/2013.
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, **Estimativa do Volume Médio Anual**, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/operacoes-rodoviaras/controle-de-velocidade/vmda-2009.pdf>, acesso em: 19/05/2013.
- DNIT/UFSC - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte/Universidade Federal de Santa Catarina, **Elaboração de Ações Preventivas e Corretivas de Segurança Rodoviária, por Meio de Identificação e Mapeamento dos Segmentos Críticos da Malha Viária do DNIT**, Brasília, DF, 2009
- DOZZA, M., BÄRGMAN, J., LEE J., Chunking: A procedure to improve naturalistic data analysis, **Accident Analysis and Prevention**, v. 48, pp. 430-441, 2013.

- EL-BASYOUNY, K., SAYED, T., Accident prediction models with random corridor parameters, **Accident Analysis and Prevention** v. 41 pp. 1118–1123, 2009.
- ELIAS W., e SHIFTAN Y., The influence of individual's risk perception and attitudes on travel behavior, **Transportation Research Part A**, v. 46, pp. 1241-1251, 2012.
- ELVIK R., A survey of operational definitions of hazardous road locations in some Europe countries. **Accident Analysis and Prevention**. v. 40, pp. 1830-1835, 2008.
- ETSC - European Transport Safety Council, Road safety target outcome: 100,000 fewer deaths since 2001, 5th Road Safety PIN Report. **European Transport Safety Council**, Brussels, 2011.
- FERRAZ, A., RAIA JUNIOR, A., BEZERRA, B., **SEGURANÇA VIÁRIA**. São Carlos. SP. Suprema Gráfica e Editora, 2012.
- FERSI/ECTRI - Forum of European Road Safety Research Institutes & European Conference of Transport Research Institutes, **The Sustainable Safety Approach to Road Transport and Mobility**. 2009.
- FRIDSTRØM, L., IFVER, J., INGEBRIGTSEN, S., KULMALA, R., THOMSEN, L.K., Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts. **Accident Analysis and Prevention**, v. 27, pp. 1–20, 1995.
- GLENDON, A. e WALKER, B., Can anti-speeding messages based on protection motivation theory influence reported speeding intentions?, **Accident Analysis and Prevention**, v. 57, pp. 67-79, 2013.
- GOLOB A., THOMAS F. e RECKER, W., A method for relating type of crash to traffic flow characteristics on urban freeways. **Transportation Research Part A**, v. 38, pp. 53-80, 2002.
- GRAZIANO, F., BINA, M. e BEGOTTI, T., The role of parents and friends in adolescent risk driving: how they drive and think about risk driving. **Accident, Analysis and Prevention**, v.1, pp. 49-66, 2009.
- GREGORIADES, A. e MOUSKOS, K. Black spots identification through a Bayesian Networks quantification of accident risk index. **Transportation Research Part C**, v. 43, pp. 28-43, 2013.
- HAI Y., WANG, X. e YIN Y., The impact of speed limits on traffic equilibrium and system performance in networks. **Transportation Research Part b**. v. 46, pp. 1295-1307, 2012.
- HABIBOVIC, A., e DAVIDSON J., Causation mechanisms in car-to-vulnerable road user crashes: implications for active safety systems, **Accident Analysis and Prevention**, v. 49, pp. 493-500, 2012.

- HEARST M., SIRAD, JR., FORSYTH, A., KLEIN E. e LYTTLE, LA., The relationship of area-level sociodemographic characteristics, household composition and individual-level socioeconomic status on walking behavior among adults. **Transportation Research Part A**. v. 50, pp. 149-157, 2013.
- HEYDARI, S., FU, L., MIRANDA-MORENO, L., e JOSEPH, L., Using a flexible multivariate latent class approach to model correlated outcomes: A joint analysis of pedestrian and cyclist injuries. **Analytic Methods in Accident Research**. v. 13, pp. 16-27, 2017.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **População residente, por situação do domicílio, com indicação da população residente em situação urbana na sede municipal, área total e densidade demográfica, segundo as Regiões Metropolitanas, as Regiões Integradas de Desenvolvimento - RIDEs e os municípios - 2010** disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/sinopse/sinopse\\_tab\\_rm\\_zip.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/sinopse/sinopse_tab_rm_zip.shtm) , acesso em: 10/06/2017, 2010.
- ITE - INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS, Traffic engineering handbook 6<sup>th</sup>. Ed., 717 p. **Institute of Transportation Engineers**, 2009.
- JAMIESON, P., e ROMER, D., What do young people think they know about the risks of smoking?, **Smoking: Risk, perception, & policy**, pp. 51–80, 2001.
- KATTAN, L., TAY, R., ACHARJEE, S., e DAVIDSON J., Managing speed at school and playground zones, **Accident Analysis and Prevention**, v. 43, pp., 1887-1891, 2012
- KIM, K., YAMASHITA, E., Motor vehicle crashes and land use—empirical analysis from Hawaii. **Transportation Research Recording**, v. 1784, pp. 73–79, 2002.
- KONONOV, J., Identifying locations with potential for accidents reductions – use of direct diagnostics and pattern recognition methodologies. Statistical Methodology: Applications to Design, Data Analysis, and Evaluation, **Journal of the transportation Board**, v. 1784, pp. 153-158, 2003.
- KUMAR, S., TOSHNIWAL, D., A novel framework to analyse road accident time series data, **Journal of Big Data**, v. 3:8, pp 1-11, 2016.
- LEVINE, N., CrimeStat III: A Spatial Statistics Program for the Analysis of Crime Incident Locations. **Ned Levine & Associates, Houston, TX, and the National Institute of Justice, Washington, DC**. 2004.
- MA J., KOCKELMAN K., DAMIEN P., A multivariate Poisson-lognormal regression model for prediction of crash counts by severity, using Bayesian methods. **Accident Analysis and Prevention**, v. 40, pp. 964-975, 2013.
- MA, L., YAN, X., WEI, C. e WANG, J., Modelling the equivalent property damage only crash rate for road segments using the hurdle regression framework. **Analytic Methods in Accident Research**, v. 11, pp 48-61, 2016.

- MIAOU S., LUM, H., Modelling Vehicle Accidents and highway geometric design relationships. **Accident Analysis and Prevention**, v.25, pp. 689-709, 1993.
- MITRA S., Enhancing road traffic safety: a GIS based methodology to identify potential areas of improvement, **California Polytechnic State University**, disponível em: [www.leonard.csusb.edu/research/documents/1018finalreport.pdf](http://www.leonard.csusb.edu/research/documents/1018finalreport.pdf), acesso em: 04/04/2013, USA. 2009
- MORGAN, A. e MANNERING, F., The effects of road-surface, age, and gender on driver-injury severities. **Accident Analysis and Prevention**, v. 43, pp. 1852–1863, 2011.
- MOUNTAIN, L., FAWAZ, B., JARRETT, D., Accident prediction models for roads with minor junctions. **Accident Analysis and Prevention**, v. 28, pp. 695–707, 1996.
- MURPHY-HOEFER, R., ALDER S., e HIGBEE, C., Perceptions about cigarette smoking and risks among college students. **Nicotine & Tobacco Research**, v. 6 Supplement 3, S-371-S374, Society for Research on Nicotine and Tobacco, 2004.
- NHTSA - National Highway Traffic Safety Administration, Traffic Safety Facts 2013: A compilation of Motor Vehicle Crash Data from the Fatality Analysis Reporting System and the General Estimates System. **National Highway Traffic Safety Administration, U.S. Department of Transportation**, 217 p., 2013.
- NHTSA - National Highway Traffic Safety Administration, Traffic Safety Facts 2015: A compilation of motor vehicle crashes data from the Fatality Analysis Reporting System and the General Estimates System, **National Highway Traffic Safety Administration, U.S. Department of Transportation**, 238 p., 2016.
- NHTSA - National Highway Traffic Safety Administration, Traffic Safety Facts 2016: 2015 Motor Vehicle Crashes: Overview, **National Highway Traffic Safety Administration, U.S. Department of Transportation**, 9 p., 2016.
- OECD/ITF - The Organization for Economic Co-operation and Development, Data collection and analysis – requirements and opportunities. **OECD/ITF**, 245 p., 2008.
- OECD - The Organization for Economic Co-operation and Development, *OECD Factbook Economic, Environmental and Social Statistics 2014*. **The Organization for Economic Co-operation and Development Publishing**, 262 p., 2014.
- OH HOON K., MIN JU P., HWASOO Y., KOOHONG C., Evaluating the performance of network screening methods for detecting high collision concentration locations on highways, **Accident Analysis and Prevention**. v. 51, pp. 141-149, 2013.
- OKABE, A., OHUNUKI, K., e SHIODE, S., SANET: A Toolbox for Spatial Analysis on a Network. **Geographical Analysis**. V.38, pp. 57-66, 2006.

- PAIXÃO, L., GONTIJO, E., DRUMOND, E., FRICHE A. e CAIAFFA, W., Acidentes de trânsito em Belo Horizonte: o que revelam três diferentes fontes de informações, 2008 a 2010. **Revista Brasileira de Epidemiologia**. V. 18 n. 1 pp. 1-10. 2015.
- PARK P., e SAHAJI R. Safety network screening for municipalities with incomplete traffic volume data. **Accident Analysis and Prevention**. v.48, pp. 1062-1072, 2013.
- PARKER, D., STRADILING, S. C., MANSTEAD, A.S.R., Modifying beliefs and attitudes to exceeding the speed limit: an intervention study based on theory of planned behavior. **Journal of Applied Social Psychology**, 1996.
- PEI X., WONG S. e SZE N., A joint-probability approach to crash prediction models. **Accident Analysis and Prevention**. v. 43, pp. 1160-1166, 2011.
- PLUG, C. XIA, J. e CAULFIELD, C., Spatial and temporal visualization techniques for crash analysis. **Accident Analysis and Prevention**. v. 43, pp. 1937-1946, 2011.
- PRASANNAKUMAR, V., VIJITH H., CHARUTHA, R., GEETHA N., Spatio-temporal clustering of road accidents: GIS based analysis and assessment. **Procedia social and behavioural Science**, v. 21, pp.317-325, 2011.
- PRF - Polícia Rodoviária Federal, Relatório de Acidentes por Quilometro (resumido) período 01/01/2009 00:00:00 a 31/12/2009 23:59:00. **Ministério da Justiça - Polícia Rodoviária Federal. / Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte**. 2010.
- PULUGURTHA, S., e SAMBHARA, V. Pedestrian crash estimation models for signalized intersections, **Accident Analysis and Prevention**, v. 43, pp. 439 – 446, 2011.
- PRASHKER J. e MAHALEL D., The relationship between an option space and drivers' indecision at signalized intersection approaches, **Transports Research Part B**, v. 23B, pp. 401-413, 1988.
- QIN, X., IVAN, J., RAVISHANKER, N., Selecting exposure measures in crash rate prediction for two-lane highway segments, **Accident Analysis and Prevention**, v. 36 (2), pp. 183–191, 2004.
- QIN, X., IVAN, JOHN N., RAVISHANKER, N., LIU, J., TEPAS, D., Bayesian estimation of hourly exposure functions by crash type and time of day. **Accident Analysis and Prevention**, v. 38 (6), pp. 1071-1080, 2006.
- QUEIROZ, M., LOUREIRO, C.; CUNTO, F. e LIMA, L. Georeferenciamento do sistema de informações de acidentes de trânsito de fortaleza (SIAT-FOR): resultados iniciais. **Anais do XVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET**, 2003.

- QUIN X., PARKER S., LIU Y., GREATTINGER A. e FORDE S., Intelligent geocoding system to locate traffic crashes. **Accident Analysis and Prevention**. v. 50, pp.1034-1041, 2013.
- RIFAAAT, S., TAY, R., BARROS, A. Effect of street pattern on the severity of crashes involving vulnerable road users, **Accident Analysis and Prevention**, v. 42, pp. 276 – 283, 2011.
- ROCHA, M. M., NASSI, C. D. Modelagem estatística dos acidentes de trânsito na cidade do Rio de Janeiro com emprego de Sistema de Informações Geográficas. In: **Congresso Pan-americano de Engenharia de Trânsito, Transporte e Logística - PANAM**, Santiago, 2012.
- TRINDADE, R., **E-SIG – sistema de informações georreferenciadas de acidentes de trânsito**, 2008, 317 p. Tese de doutorado (Doutorado em Engenharia de Transportes), Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, COPPE-UFRJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.
- SCHRANK, D., LOMAX, T. The 2002 urban mobility report. **The Texas A&M University System**, 2002.
- SHEN Y., HERMANS E., BRIJS T., WETS G., VANHOOF K., Road safety risk evaluation and target setting using data envelopment analysis and its extensions, **Accident Analysis and Prevention**, v. 48, pp. 430-441, 2012.
- SCHEPERS, P., HAGENZIEKER, M., METHORST R. e WEE B., A conceptual framework for road safety and mobility applied to cycling safety, **Accident Analysis and Prevention**, V.62, pp. 331-340, 2014.
- SIPOS, T., Spatial Analysis of the Traffic Accidents. **Periodica Polytechnica Transportation Engineering**, v.45(2), 101-105, 2017.
- SLOVIC, P., Rejoinder: the perils of viscus’s analysis of smoking risk perceptions. **Journal of Behavioral Decision Making**, v.13, 273–276, 2000.
- SMULDERS, S., Control of freeway traffic flow by variable speed signs. **Transport Research Part B**, v. 24B, pp. 111 – 132, 1990.
- STEENBERGHEN, T., DUFAYS, T. THOMAS, I., FLAHAUT, B., Intra-urban location and clustering of road accidents using GIS: a Belgian example. **International Journal of Geographical Information Science**, v.18, pp. 169-181. 2004.
- WHO - World Health Organization, World report on road traffic injury prevention - summary. **World Health Organization**, 52 p., disponível em: [http://www.who.int/world-health-day/2004/infomaterials/world\\_report/en/-summary\\_en\\_rev.pdf](http://www.who.int/world-health-day/2004/infomaterials/world_report/en/-summary_en_rev.pdf) , acesso em: 26 jun. 2016. 2004

- WHO - World Health Organization, Global status report on road safety 2013, **World Health Organization**, 318 p., disponível em: [http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2013/en/index.html](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2013/en/index.html), acesso em: 07/09/2013. 2013.
- WHO - World Health Organization, Global status report on road safety 2015, **World Health Organization**, 340 p., disponível em: [http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2015/en/](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/), acesso em: 05/06/2016. 2016.
- WONGSUPHASAWAT, K., PACK, M., FILIPPOVA, D., VANDANIKER, M., OLEA, A., Visual analytics for transportation incident data sets. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2138, pp. 135-145. 2009.
- YANG H., WANG, X. e YIN, Y., The impact of speed limits on traffic equilibrium and system performance in networks. **Transportation Research Part B**, v. 46, pp. 1295-1307, 2012.
- ZAHARAN, E., BENNETT, L., SMITH, M., A GIS-based approach to automating the collection of geospatial road network data. **Traffic Engineering and Control**, v.52, pp. 295–299. 2011.

Veículos envolvidos em acidentes de trânsito, segundo a finalidade do veículo e a gravidade do acidente – Brasil (2007-2009)

Gravidade do Acidente	Finalidade do Veículo	2007	2008	2009
<b>Com morto</b>	Passeio	3024	3056	3324
	Carga	3712	3441	3374
	Coletivo	483	491	439
	Motocicleta	1317	1355	1462
	Outros	4	0	0
	Não informado	553	750	1077
	<b>Total</b>	<b>9093</b>	<b>9093</b>	<b>9676</b>
<b>Com ferido</b>	Passeio	30852	32938	36951
	Carga	20938	20455	20351
	Coletivo	2204	2506	2212
	Motocicleta	17381	19501	21770
	Outros	20	0	0
	Não informado	1285	3248	6428
	<b>Total</b>	<b>72680</b>	<b>78648</b>	<b>87712</b>
<b>Sem Vítima</b>	Passeio	70077	81100	95079
	Carga	54151	56458	57584
	Coletivo	6161	7182	6836
	Motocicleta	2583	2833	3308
	Outros	30	0	0
	Não informado	1275	4717	11412
	<b>Total</b>	<b>134277</b>	<b>152290</b>	<b>174219</b>
<b>Não informado</b>	Passeio	311	395	492
	Carga	108	146	144
	Coletivo	4	6	8
	Motocicleta	25	36	42
	Outros	0	0	0
	Não informado	26	46	85
	<b>Total</b>	<b>474</b>	<b>629</b>	<b>771</b>
<b>Total Geral</b>		<b>216524</b>	<b>240660</b>	<b>272378</b>

Fonte PRF (2009)

Apêndice B – Folha 1/43 do Relatório em PDF de Estimativa do Volume Médio Anual – 2009 – Fonte; DNIT (2010)

VMDa\_2009



DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES  
DIRETORIA DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA  
COORDENAÇÃO GERAL DE OPERAÇÕES RODOVIÁRIAS

ESTIMATIVA DO VOLUME MEDIO DIARIO ANUAL - VMD - 2009								
UF	BR	CÓDIGO	LOCAIS DE INICIO E FIM	INICIO (km)	FIM (km)	EXT. (km)	SUP.	VMDa 2009
DF	10	010BDF0010	ENTR BR-020(A)/030(A)/450/DF-001 (BRASILIA) - ENTR DF-440	0	2,5	2,5	DUP	15920
DF	10	010BDF0016	ACESSO I SOBRADINHO - ACESSO II SOBRADINHO	6	8,4	2,4	DUP	15920
DF	10	010BDF0018	ACESSO II SOBRADINHO - ENTR DF-230	8,4	18,8	10,4	DUP	15920
DF	10	010BDF0020	ENTR DF-230 - ENTR DF-128	18,8	22,6	3,8	DUP	15920
DF	10	010BDF0022	ENTR DF-128 - P/PLANALTIMA	22,6	25,6	3	DUP	15630
DF	10	010BDF0030	P/PLANALTIMA - ENTR BR-020(B)/030(B)/DF-345(A)	25,6	33,6	8	PAV	15630
MA	10	010BMA0370	ENTR BR-230(A) (CAROLINA) - ENTR BR-226(A)/230(B)/MA-138 (ESTREITO)	34	128,8	94,8	PAV	1450
MA	10	010BMA0390	ENTR BR-226(A)/230(B)/MA-138 (ESTREITO) - ENTR BR-226(B) (PORTO FRANCO)	128,8	156,1	27,3	PAV	5790
MA	10	010BMA0410	ENTR BR-226(B) (PORTO FRANCO) - ENTR MA-280 (GOVERNADOR EDSON LOBÃO)	156,1	222,5	66,4	PAV	4800
MA	10	010BMA0430	ENTR MA-280 (GOVERNADOR EDSON LOBÃO) - ENTR MA-122 (IMPERATRIZ)	222,5	253	30,5	PAV	5590
MA	10	010BMA0450	ENTR MA-122 (IMPERATRIZ) - ENTR MA-125 (P/CIDELÂNDIA)	253	292	39	PAV	5500
MA	10	010BMA0460	ENTR MA-125 (P/CIDELÂNDIA) - ENTR BR-222(A) (AÇAILÂNDIA)	292	319,8	27,8	PAV	5510
MA	10	010BMA0470	ENTR BR-222(A) (AÇAILÂNDIA) - DIV MA/PA (RIO ITINGA)	319,8	379,1	59,3	PAV	4830
PA	10	010BPA0490	DIV MA/PA (RIO ITINGA) - ENTR BR-222(B)/PA-332 (DOM ELISEU)	0	18,3	18,3	PAV	4790
PA	10	010BPA0510	ENTR BR-222(B)/PA-332 (DOM ELISEU) - ENTR PA-125/263 (GURUPIZINHO)	18,3	84,2	65,9	PAV	5850
PA	10	010BPA0530	ENTR PA-125/263 (GURUPIZINHO) - ENTR PA-256 (P/PARAGOMINAS)	84,2	168,2	84	PAV	5010
PA	10	010BPA0550	ENTR PA-256 (P/PARAGOMINAS) - ENTR PA-125	168,2	178,7	10,5	PAV	4140
PA	10	010BPA0570	ENTR PA-125 - ENTR PA-252 (MÃE DO RIO)	178,7	275,7	97	PAV	4130
PA	10	010BPA0590	ENTR PA-252 (MÃE DO RIO) - ENTR PA-253(A) (P/ISÃO DOMINGOS DO CAPIM)	275,7	303,6	27,9	PAV	4120
PA	10	010BPA0610	ENTR PA-253(A) (P/ISÃO DOMINGOS DO CAPIM) - ENTR PA-253(B) (P/IRITUIA)	303,6	311,5	7,9	PAV	4120
PA	10	010BPA0630	ENTR PA-253(B) (P/IRITUIA) - ENTR PA-432 (P/VILA CONCEIÇÃO)	311,5	317,3	5,8	PAV	4360
PA	10	010BPA0650	ENTR PA-432 (P/VILA CONCEIÇÃO) - ENTR PA-251/322/456 (SÃO MIGUEL DO GUAMA)	317,3	326	8,7	PAV	4360
PA	10	010BPA0670	ENTR PA-251/322/456 (SÃO MIGUEL DO GUAMA) - SANTA MARIA DO PARÁ	326	358,4	32,4	PAV	4360
PA	10	010BPA0690	SANTA MARIA DO PARÁ - ENTR BR-316(A)/308(A)	358,4	359,8	1,4	PAV	4360
PA	10	010BPA0710	ENTR BR-316(A)/308(A) - ENTR PA-424 (P/COLÔNIA DO PRATA)	359,8	367	7,2	PAV	10310
PA	10	010BPA0730	ENTR PA-424 (P/COLÔNIA DO PRATA) - ENTR PA-127(A) (PIGARAPÉ AÇU)	367	376,6	9,6	PAV	10310
PA	10	010BPA0750	ENTR PA-127(A) (PIGARAPÉ AÇU) - ENTR PA-127(B) (BARRO BRANCO)	376,6	382,5	5,9	PAV	10210
PA	10	010BPA0770	ENTR PA-127(B) (BARRO BRANCO) - INICIO PISTA DUPLA	382,5	395,9	13,4	PAV	10210
PA	10	010BPA0780	INICIO PISTA DUPLA - ENTR PA-136/320 (CASTANHAL)	395,9	399,4	3,5	DUP	10210
PA	10	010BPA0790	ENTR PA-136/320 (CASTANHAL) - ACESSO AMERICANO I	399,4	412,6	13,2	DUP	9570
PA	10	010BPA0810	ACESSO AMERICANO I - ACESSO AMERICANO II	412,6	415,6	3	DUP	9570
PA	10	010BPA0830	ACESSO AMERICANO II - ENTR PA-140 (SANTA IZABEL DO PARÁ)	415,6	427,4	11,8	DUP	9570
PA	10	010BPA0850	ENTR PA-140 (SANTA IZABEL DO PARÁ) - ENTR PA-406 (CAJUEIRO)	427,4	438,2	10,8	DUP	9380
PA	10	010BPA0870	ENTR PA-406 (CAJUEIRO) - ENTR PA-391 (P/BENEVIDES)	438,2	440,4	2,2	DUP	9380
PA	10	010BPA0890	ENTR PA-391 (P/BENEVIDES) - ENTR PA-406 (CANUTAMA)	440,4	444,1	3,7	DUP	9370
PA	10	010BPA0910	ENTR PA-406 (CANUTAMA) - ENTR PA-404 (P/BENSoma)	444,1	446,5	2,4	DUP	9380
PA	10	010BPA0930	ENTR PA-404 (P/BENSoma) - ACESSO ALÇA VIÁRIA	446,5	455,4	8,9	DUP	9380
PA	10	010BPA0970	ACESSO ALÇA VIÁRIA - ENTR BR-308(B)/316(B) (2º UNIT BELÉM)	455,4	465,3	9,9	DUP	8700
TO	10	010BTO0290	ENTR TO-030(A)/050(A)/070(A) (TAQUARALTO) - ENTR TO-010/020(A)/030(B)/040 (B)/050(B)/070(B) (P)	402,2	419,1	16,9	DUP	770
BA	20	020BBA0220	DIV GO/BA - ENTR BR-349(B)	0	18	18	PAV	4120
BA	20	020BBA0225	ENTR BR-349(B) - RIO GRANDE	18	78,4	60,4	PAV	2030
BA	20	020BBA0230	RIO GRANDE - RODA VELHA	78,4	135,3	56,9	PAV	1990
BA	20	020BBA0250	ENTR BR-242(A) - ENTR BR-135(A)/242(B)	211,7	300,3	88,6	PAV	610
BA	20	020BBA0270	ENTR BR-135(A)/242(B) - ENTR BR-135(B)	300,3	327,6	27,3	PAV	1260
CE	20	020BCE0510	DIV PI/CE - ENTR CE-277 (P/PARAMBU)	0	35,2	35,2	PAV	1000
CE	20	020BCE0520	ENTR CE-277 (P/PARAMBU) - ENTR CE-187 (P/MARRECOS)	35,2	66,2	31	PAV	1290
CE	20	020BCE0530	ENTR CE-187 (P/MARRECOS) - ENTR BR-404/CE-176/187/363 (P/ITAUÁ)	66,2	84,3	18,1	PAV	1290
CE	20	020BCE0550	ENTR BR-404/CE-176/187/363 (P/ITAUÁ) - ENTR BR-226 (SANTA CRUZ DO BANABUIÚ)	84,3	158	73,7	PAV	1460
CE	20	020BCE0570	ENTR BR-226 (SANTA CRUZ DO BANABUIÚ) - ENTR CE-168/266 (ACESSO NORTE P/ BOA VIAGEM)	158	207,4	49,4	PAV	1030

Apêndice B – Folha 1/5348 do Relatório de Acidentes por Quilômetro (Resumido). Fonte PRF (2010)

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES  
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES  
DIRETORIA DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA  
COORDENAÇÃO GERAL DE OPERAÇÕES RODOVIÁRIAS

MINISTÉRIO DA JUSTIÇA  
DEPARTAMENTO DE POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL  
COORDENAÇÃO GERAL DE OPERAÇÕES  
COORDENAÇÃO DE CONTROLE OPERACIONAL

**ACIDENTES POR QUILOMETRO (RESUMIDO)**

UF: AC BR-317

Período de 01/01/2009 00:00:00 a 31/12/2009 23:59:00

Local Km.0: DIV AM/AC

**KM. 1 - AMBOS OS SENTIDOS**

<u>Km</u>	<u>Uso do Solo</u>	<u>Hora</u>	<u>Data</u>	<u>Tipo do Acidente</u>	<u>Gravidade</u>	<u>Feridos</u>	<u>Mortos</u>
1,0	RURAL	17:00	08/11/2009 dom	Choque com objeto fixo	Sem Vítima	0	0
<b>Total de acidentes: 1</b>		S/vítimas: <b>1</b>	C/ferido: <b>0</b>	C/morto: <b>0</b>	n.inf: <b>0</b>	<b>Total de vítimas</b>	<b>0</b>

**KM. 19 - AMBOS OS SENTIDOS**

<u>Km</u>	<u>Uso do Solo</u>	<u>Hora</u>	<u>Data</u>	<u>Tipo do Acidente</u>	<u>Gravidade</u>	<u>Feridos</u>	<u>Mortos</u>
19,0	RURAL	17:00	12/04/2009 dom	Queda de veículo	Com Ferido	2	0
<b>Total de acidentes: 1</b>		S/vítimas: <b>0</b>	C/ferido: <b>1</b>	C/morto: <b>0</b>	n.inf: <b>0</b>	<b>Total de vítimas</b>	<b>2</b>

**KM. 22 - AMBOS OS SENTIDOS**

<u>Km</u>	<u>Uso do Solo</u>	<u>Hora</u>	<u>Data</u>	<u>Tipo do Acidente</u>	<u>Gravidade</u>	<u>Feridos</u>	<u>Mortos</u>
22,0	URBANO	05:30	19/01/2009 seg	Atropelamento de animal	Sem Vítima	0	0
<b>Total de acidentes: 1</b>		S/vítimas: <b>1</b>	C/ferido: <b>0</b>	C/morto: <b>0</b>	n.inf: <b>0</b>	<b>Total de vítimas</b>	<b>0</b>

**KM. 45 - AMBOS OS SENTIDOS**

<u>Km</u>	<u>Uso do Solo</u>	<u>Hora</u>	<u>Data</u>	<u>Tipo do Acidente</u>	<u>Gravidade</u>	<u>Feridos</u>	<u>Mortos</u>
45,0	RURAL	04:00	30/08/2009 dom	Saída de pista	Com Ferido	1	0
<b>Total de acidentes: 1</b>		S/vítimas: <b>0</b>	C/ferido: <b>1</b>	C/morto: <b>0</b>	n.inf: <b>0</b>	<b>Total de vítimas</b>	<b>1</b>

**KM. 54 - AMBOS OS SENTIDOS**

Apêndice C – Cidades que compõe as Regiões Metropolitanas no Brasil. Fonte: IBGE, adaptado pelo autor

REGIÃO METROPOLITANA - RM	Subdivisões	Código do Município	NOME DO MUNICÍPIO
RM Manaus	NÃO TEM	1300300	AUTAZES
		1301100	CAREIRO
		1301159	CAREIRO DA VÁRZEA
		1301852	IRANDUBA
		1301902	ITACOATIARA
		1302009	ITAPIRANGA
		1302504	MANACAPURU
		1302553	MANAQUIRI
		1302603	MANAUS
		1303205	NOVO AIRÃO
		1303536	PRESIDENTE FIGUEIREDO
		1303569	RIO PRETO DA EVA
		1304005	SILVES
RM Grande São Luís	NÃO TEM	2100204	ALCÂNTARA
		2107506	PAÇO DO LUMIAR
		2109452	RAPOSA
		2111201	SÃO JOSÉ DE RIBAMAR
		2111300	SÃO LUÍS
RM Sudoeste Maranhense	NÃO TEM	2102358	BURITIRANA
		2103752	DAVINÓPOLIS
		2104552	GOVERNADOR EDISON LOBÃO
		2105302	IMPERATRIZ
		2105500	JOÃO LISBOA
		2107001	MONTES ALTOS
		2109551	RIBAMAR FIQUENE
2111763	SENADOR LA ROCQUE		

REGIÃO METROPOLITANA - RM	Subdivisões	Código do Município	NOME DO MUNICÍPIO
RM Fortaleza	NÃO TEM	2301000	AQUIRAZ
		<b>2303501</b>	<b>CASCAVEL</b>
		2303709	CAUCAIA
		2303956	CHOROZINHO
		2304285	EUZÉBIO
		2304400	FORTALEZA
		2304954	GUAIÚBA
		2305233	HORIZONTE
		2306256	ITAITINGA
		2307650	MARACANAÚ
		2307700	MARANGUAPE
		2309607	PACAJUS
		2309706	PACATUBA
		<b>2310852</b>	<b>PINDORETAMA</b>
2312403	SÃO GONÇALO DO AMARANTE		
RM Natal	NÃO TEM	2402600	CEARÁ-MIRIM
		2403251	PARNAMIRIM
		2403608	EXTREMOZ
		2407104	MACAÍBA
		2408102	NATAL
		2412005	SÃO GONÇALO DO AMARANTE
		2412203	SÃO JOSÉ DE MIBIPÚ
		2407807	MONTE ALEGE
2408201	NÍZIA FLORESTA		
RM Recife	NÃO TEM	2601052	ARAÇOIABA
		2600054	ABREU E LIMA
		2602902	CABO DE SANTO AGOSTINHO
		2603454	CAMARAGIBE
		2606804	IGARASSU
		2607208	IPOJUCA
		2607604	ILHA DE ITAMARACÁ
		2607752	ITAPISSUMA
		2607901	JABOATÃO DOS GUARARAPES
		2609402	MORENO
		2609600	OLINDA
		2610707	PAULISTA
		2611606	RECIFE
		2613701	SÃO LOURENÇO DA MATA

REGIÃO METROPOLITANA - RM	Subdivisões	Código do Município	NOME DO MUNICÍPIO
RM Maceió	NÃO TEM	2700508	BARRA DE SANTO ANTÔNIO
		2700607	BARRA DE SÃO MIGUEL
		2702207	COQUEIRO SÊCO
		2704302	MACEIÓ
		2704708	MARECHAL DEODORO
		2705200	MESSIAS
		2706448	PARIPUEIRA
		2706901	PILAR
		2707701	RIO LARGO
		2707909	SANTA LUZIA DO NORTE
		2708907	SATUBA
RM Aracaju	NÃO TEM	2800308	ARACAJU
		2800605	BARRA DOS COQUEIROS
		2804805	NOSSA SENHORA DO SOCORRO
		2806701	SÃO CRISTOVÃO
RM Salvador	NÃO TEM	2910057	DIAS D'ÁVILA
		2905701	CAMAÇARI
		2906501	CANDEIAS
		2916104	ITAPARICA
		2919207	LAURO DE FREITAS
		2919926	MADRE DE DEUS
		2921005	MATA DE SÃO JOÃO
		<b>2925204</b>	<b>POJUCA</b>
		2927408	SALVADOR
		2929206	SÃO FRANCISCO DO CONDE
		2929503	SÃO SEBASTIÃO DO PASSÉ
		2930709	SIMÕES FILHO
2933208	VERA CRUZ		
RM Belo Horizonte	Colar Metropolitano	3105400	BARÃO DE COCAIS
		3106408	BELO VALE
		3108107	BONFIM
		3126406	FORTUNA DE MINAS
		3127206	FUNILÂNDIA
		3131000	INHAÚMA
		3131901	ITABIRITO
		3133808	ITAÚNA
		3142304	MOEDA
		3147105	PARÁ DE MINAS
		3153608	PRUDENTE DE MORAIS
		3157203	SANTA BÁRBARA
		3163102	SÃO JOSÉ DA VARGINHA
		3167202	SETE LAGOAS

<b>REGIÃO METROPOLITANA - RM</b>	<b>Subdivisões</b>	<b>Código do Município</b>	<b>NOME DO MUNICÍPIO</b>
<b>RM Belo Horizonte</b>	<b>RM Belo Horizonte</b>	3105004	BALDIM
		3106200	BELO HORIZONTE
		3106705	BETIM
		3109006	BRUMADINHO
		3110004	CAETÉ
		3112505	CAPIM BRANCO
		3117876	CONFINS
		3118601	CONTAGEM
		3124104	ESMERALDAS
		3126000	FLORESTAL
		3129806	IBIRITÉ
		3130101	IGARAPÉ
		3132206	ITAGUARA
		3133709	ITATIAIUÇU
		3134608	JABOTICATUBAS
		3136652	JUATUBA
		3137601	LAGOA SANTA
		3140159	MÁRIO CAMPOS
		3140704	MATEUS LEME
		3141108	MATOZINHOS
		3144805	NOVA LIMA
		3136603	NOVA UNIÃO
		3149309	PEDRO LEOPOLDO
		3153905	RAPOSOS
		3154606	RIBEIRÃO DAS NEVES
		3154804	RIO ACIMA
		3155306	RIO MANSO
		3156700	SABARÁ
		3157807	SANTA LUZIA
		3162922	SÃO JOAQUIM DE BICAS
		3162955	SÃO JOSÉ DA LAPA
		3165537	SARZEDO
		3168309	TAQUARAÇU DE MINAS
3171204	VESPASIANO		

<b>REGIÃO METROPOLITANA - RM</b>	<b>Subdivisões</b>	<b>Código do Município</b>	<b>NOME DO MUNICÍPIO</b>
<b>RM Vale do Aço</b>	<b>RM Vale do Aço</b>	3119401	CORONEL FABRICIANO
		3131307	IPATINGA
		3158953	SANTANA DO PARAÍSO
		3168705	TIMÓTEO
	<b>Colar Metropolitano</b>	3100500	AÇUCENA
		3103009	ANTÔNIO DIAS
		3106309	BELO ORIENTE
		3108800	BRAÚNAS
		3109253	BUGRE
		3120003	CÓRREGO NOVO
		3121803	DIONÍSIO
		3122504	DOM CAVATI
		3123858	ENTRE FOLHAS
		3129301	IAPU
		3131158	IPABA
		3135001	JAGUARAÇU
		3136108	JOANÉSIA
		3140308	MARLIÉRIA
		3141702	MESQUITA
		3144359	NAQUE
		3149952	PERIQUITO
		3150539	PINGO D'ÁGUA
		3162609	SÃO JOÃO DO ORIENTE
3163409	SÃO JOSÉ DO GOIABAL		
3167707	SOBRÁLIA		
3170578	VARGEM ALEGRE		
<b>RM Grande Vitória</b>	<i>NÃO TEM</i>	3201308	CARIACICA
		3202207	FUNDÃO
		3202405	GUARAPARI
		3205002	SERRA
		3205101	VIANA
		3205200	VILA VELHA
		3205309	VITÓRIA

REGIÃO METROPOLITANA - RM	Subdivisões	Código do Município	NOME DO MUNICÍPIO
RM Rio de Janeiro	NÃO TEM	3300456	BELFORD ROXO
		3301702	DUQUE DE CAXIAS
		3301850	GUAPIMIRIM
		3301900	ITABORAÍ
		<b>3302007</b>	<b>ITAGUAÍ</b>
		3302270	JAPERI
		3302502	MAGÉ
		3302858	MESQUITA
		3303203	NILÓPOLIS
		3303302	NITERÓI
		3303500	NOVA IGUAÇU
		3303609	PARACAMBI
		3304144	QUEIMADOS
		3304557	RIO DE JANEIRO
		3304904	SÃO GONÇALO
		3305109	SÃO JOÃO DE MERITI
		3305554	SEROPÉDICA
3305752	TANGUÁ		

REGIÃO METROPOLITANA - RM	Subdivisões	Código do Município	NOME DO MUNICÍPIO
<b>RM São Paulo</b>	<i>NÃO TEM</i>	3503901	ARUJÁ
		3505708	BARUERI
		3506607	BIRITIBA-MIRIM
		3509007	CAIEIRAS
		3509205	CAJAMAR
		3510609	CARAPICUÍBA
		3513009	COTIA
		3513801	DIADEMA
		3515004	EMBU
		3515103	EMBU-GUAÇU
		3515707	FERRAZ DE VASCONCELOS
		3516309	FRANCISCO MORATO
		3516408	FRANCO DA ROCHA
		3518305	GUARAREMA
		3518800	GUARULHOS
		3522208	ITAPECERICA DA SERRA
		3522505	ITAPEVI
		3523107	ITAQUAQUECETUBA
		3525003	JANDIRA
		3526209	JUQUITIBA
		3528502	MAIRIPORÃ
		3529401	MAUÁ
		3530607	MOGI DAS CRUZES
		3534401	OSASCO
		3539103	PIRAPORA DO BOM JESUS
		3539806	POÁ
		3543303	RIBEIRÃO PIRES
		3544103	RIO GRANDE DA SERRA
		3545001	SALESÓPOLIS
		3546801	SANTA ISABEL
		3547304	SANTANA DE PARNAÍBA
		3547809	SANTO ANDRÉ
		3548708	SÃO BERNARDO DO CAMPO
		3548807	SÃO CAETANO DO SUL
3549953	SÃO LOURENÇO DA SERRA		
3550308	SÃO PAULO		
3552502	SUZANO		
3552809	TABOÃO DA SERRA		
3556453	VARGEM GRANDE PAULISTA		

REGIÃO METROPOLITANA - RM	Subdivisões	Código do Município	NOME DO MUNICÍPIO
RM Curitiba	NÃO TEM	4100202	ADRIANÓPOLIS
		4100301	AGUDOS DO SUL
		4100400	ALMIRANTE TAMANDARÉ
		4101804	ARAUCÁRIA
		4102307	BALSA NOVA
		4103107	BOCAIÚVA DO SUL
		4104006	CAMPINA GRANDE DO SUL
		4104204	CAMPO LARGO
		4104253	CAMPO MAGRO
		4105201	CERRO AZUL
		4105805	COLOMBO
		4106209	CONTENDA
		4106902	CURITIBA
		4128633	DOCTOR ULYSSES
		4107652	FAZENDA RIO GRANDE
		4111258	ITAPERUÇU
		4113205	LAPA
		4114302	MANDIRITUBA
		4119152	PINHAIS
		4119509	PIRAQUARA
		4120804	QUATRO BARRAS
		4121208	QUITANDINHA
		4122206	RIO BRANCO DO SUL
4125506	SÃO JOSÉ DOS PINHAIS		
4127601	TIJUCAS DO SUL		
4127882	TUNAS DO PARANÁ		

REGIÃO METROPOLITANA - RM	Subdivisões	Código do Município	NOME DO MUNICÍPIO
RM Maringá	NÃO TEM	4101150	ÂNGULO
		<b>4102109</b>	<b>ASTORGA</b>
		<b>4107306</b>	<b>DOUTOR CAMARGO</b>
		<b>4107900</b>	<b>FLORESTA</b>
		<b>4110003</b>	<b>IGUARAÇU</b>
		<b>4111100</b>	<b>ITAMBÉ</b>
		<b>4111605</b>	<b>IVATUBA</b>
		4114104	MANDAGUAÇU
		4114203	MANDAGUARI
		4114807	MARIALVA
		4115200	MARINGÁ
		4117503	PAIÇANDU
		4126256	SARANDI
RM Florianópolis	Núcleo Metropolitano	4200606	ÁGUAS MORNAS
		4201208	ANTÔNIO CARLOS
		4202305	BIGUAÇU
		4205407	FLORIANÓPOLIS
		4206009	GOVERNADOR CELSO RAMOS
		4211900	PALHOÇA
		4215703	SANTO AMARO DA IMPERATRIZ
		4216602	SÃO JOSÉ
		4217253	SÃO PEDRO DE ALCÂNTARA
	Área de Expansão Metropolitana	4200705	ALFREDO WAGNER
		4200903	ANGELINA
		4201109	ANITÁPOLIS
		4203709	CANELINHA
		4205704	GAROPABA
		4209805	LEOBERTO LEAL
		4210209	MAJOR GERCINO
		4211504	NOVA TRENTO
		4212304	PAULO LOPES
		4214300	RANCHO QUEIMADO
		4215901	SÃO BONIFÁCIO
		4216305	SÃO JOÃO BATISTA
		4218004	TIJUCAS

<b>REGIÃO METROPOLITANA - RM</b>	<b>Subdivisões</b>	<b>Código do Município</b>	<b>NOME DO MUNICÍPIO</b>
<b>RM Vale do Itajaí</b>	<b>Núcleo Metropolitano</b>	4202404	BLUMENAU
		4205902	GASPAR
		4207502	INDAIAL
		4213203	POMERODE
		4218202	TIMBÓ
	<b>Área de Expansão Metropolitana</b>	4201257	APIÚNA
		4201703	ASCURRA
		4202206	BENEDITO NOVO
		4202701	BOTUVERÁ
		4202909	BRUSQUE
		4205159	DOUTOR PEDRINHO
		4206306	GUABIRUBA
		4207106	ILHOTA
		4210001	LUIZ ALVES
		4214706	RIO DOS CEDROS
4215109	RODEIO		
<b>RM Foz do Rio Itajaí</b>	<b>Núcleo Metropolitano</b>	4208203	ITAJAÍ
		4202008	BALNEARIO CAMBORIU
		4203204	CAMBORIU
		4211306	NAVEGANTES
		4212502	PENHA
	<b>Área de Expansão Metropolitana</b>	4202453	BOMBINHAS
		4208302	ITAPEMA
		4212809	PIÇARRAS
		4213500	PORTO BELO

<b>REGIÃO METROPOLITANA - RM</b>	<b>Subdivisões</b>	<b>Código do Município</b>	<b>NOME DO MUNICÍPIO</b>
<b>RM Tubarão</b>	<b>Núcleo Metropolitano</b>	4218707	TUBARÃO
		4203956	CAPIVARI DE BAIXO
		4206207	GRAVATAL
	<b>Área de Expansão Metropolitana</b>	4201505	ARMAZÉM
		4202800	BRAÇO DO NORTE
		4206108	GRÃO PARÁ
		4207205	IMARUÍ
		4207304	IMBITUBA
		4208807	JAGUARUNA
		4209409	LAGUNA
		4211702	ORLEANS
		4212403	PEDRAS GRANDES
		4214904	RIO FORTUNA
		4215455	SANGÃO
		4215604	SANTA ROSA DE LIMA
		4217006	SÃO LUDGERO
		4217105	SÃO MARTINHO
		4218400	TREZE DE MAIO

REGIÃO METROPOLITANA - RM	Subdivisões	Código do Município	NOME DO MUNICÍPIO
<b>RM Porto Alegre</b>	<i>NÃO TEM</i>	4300604	ALVORADA
		4300877	ARARICÁ
		4301107	ARROIO DOS RATOS
		4303103	CACHOEIRINHA
		4303905	CAMPO BOM
		4304606	CANOAS
		4304689	CAPELA DE SANTANA
		4305355	CHARQUEADAS
		4306403	DOIS IRMÃOS
		4306767	ELDORADO DO SUL
		4307609	ESTÂNCIA VELHA
		4307708	ESTEIO
		4309050	GLORINHA
		4309209	GRAVATAÍ
		4309308	GUAÍBA
		4310801	IVOTI
		4312401	MONTENEGRO
		4313060	NOVA HARTZ
		4313375	NOVA SANTA RITA
		4313409	NOVO HAMBURGO
		4314050	PAROBÉ
		4314803	PORTÃO
		4314902	PORTO ALEGRE
		4317608	SANTO ANTÔNIO DA PATRULHA
		4318408	SÃO JERÔNIMO
		4318705	SÃO LEOPOLDO
4319901	SAPIRANGA		
4320008	SAPUCAIA DO SUL		
4321204	TAQUARA		
4322004	TRIUNFO		
4323002	VIAMÃO		
<b>RM Vale do Rio Cuiabá</b>	<i>NÃO TEM</i>	5103403	CUIABÁ
		5106109	NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO
		5107800	SANTO ANTÔNIO DO LEVERGER
		5108402	VÁRZEA GRANDE

REGIÃO METROPOLITANA - RM	Subdivisões	Código do Município	NOME DO MUNICÍPIO
RM Goiânia	NÃO TEM	5200050	ABADIA DE GOIÁS
		5201405	APARECIDA DE GOIÂNIA
		5201801	ARAGOIÂNIA
		5203302	BELA VISTA DE GOIÁS
		5208400	GOIANÁPOLIS
		5208707	GOIÂNIA
		5208806	GOIANIRA
		5209200	GUAPÓ
		5209705	HIDROLÂNDIA
		5214507	NERÓPOLIS
		5219738	SANTO ANTÔNIO DE GOIÁS
		5220454	SENADOR CANEDO
		5221403	TRINDADE

Fonte: Assembleias Legislativas Estaduais e Legislação Federal.

Organização: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geografia.