



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA E MATEMÁTICA APLICADA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM E MÉTODOS**  
**QUANTITATIVOS**

**DANIEL DE HOLANDA GONÇALVES**

**ANÁLISE DE UMA DÉCADA DE ACIDENTES GRAVES NAS RODOVIAS**  
**FEDERAIS DO CEARÁ NO PERÍODO 2008-2017**

**FORTALEZA**  
**2018**

DANIEL DE HOLANDA GONÇALVES

ANÁLISE DE UMA DÉCADA DE ACIDENTES GRAVES NAS RODOVIAS FEDERAIS  
DO CEARÁ NO PERÍODO 2008-2017

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Métodos Quantitativos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Modelagem e Métodos Quantitativos. Área de concentração: Modelagem e Métodos Quantitativos.

Orientador: Prof. Dr. André Jalles Monteiro.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- G624a Gonçalves, Daniel de Holanda.  
Análise de uma década de acidentes graves nas rodovias federais do Ceará no período 2008-2017 /  
Daniel de Holanda Gonçalves. – 2018.  
115 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação  
em Modelagem e Métodos Quantitativos, Fortaleza, 2018.  
Orientação: Prof. Dr. André Jalles Monteiro.
1. Acidente de trânsito. 2. Modelos Lineares Generalizados (MLG). 3. Odds Ratio. 4. Regressão  
logística. 5. Polícia Rodoviária Federal (PRF). I. Título.

CDD 510

---

DANIEL DE HOLANDA GONÇALVES

ANÁLISE DE UMA DÉCADA DE ACIDENTES GRAVES NAS RODOVIAS FEDERAIS  
DO CEARÁ NO PERÍODO 2008-2017

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Métodos Quantitativos da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Modelagem e Métodos Quantitativos. Área de concentração: Modelagem e Métodos Quantitativos.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. André Jalles Monteiro (Orientador)  
Departamento de Estatística e Matemática Aplicada  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.a Dra. Sílvia Maria de Freitas (Examinador interno)  
Departamento de Estatística e Matemática Aplicada  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. João Maurício Araújo Motta (Examinador externo)  
Departamento de Estatística e Matemática Aplicada  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

À minha família.

À memória de meu padrinho Adalto.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha esposa, por todo o seu apoio à criação de nossa filha durante minhas ausências.

À minha mãe, por ser minha maior incentivadora nos estudos.

Aos Professores Dr. André Jalles Monteiro e Dr<sup>a</sup>. Sílvia Maria de Freitas, pelo profissionalismo demonstrado na atividade de orientação da dissertação e da qualificação, respectivamente.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Métodos Quantitativos da Universidade Federal do Ceará, pelo conhecimento adquirido e compartilhado.

“Aquilo que não se pode medir, não se pode melhorar”, LORD KELVIN.

## RESUMO

Os acidentes de trânsito são um problema social que precisa ser enfrentado pelo poder público e pela sociedade em virtude dos enormes prejuízos financeiros e sociais que causam. Os acidentes de trânsito nas rodovias e estradas federais do Ceará no período 2008-2017 foram mapeados em função de diversas variáveis explicativas, entre elas Local Urbanizado, que retrata o nível de urbanização em função da frequência de acidentes (critério dinâmico), Estrutura Viária, Ano, Começo do Mês, Feriados, Dia da Semana, Fase do Dia e Tipo de Acidente. Em virtude do alto custo, os acidentes fatais destacaram-se entre os graves e ensejaram o desenvolvimento de modelos logísticos de natureza espacial, temporal e específica. Tais modelos identificaram as variáveis que contribuíram, com nível de confiança superior a 0,95, para a ocorrência de fatalidade nas rodovias e estradas federais. Entre os resultados alcançados, pode-se citar que a chance de fatalidade em um acidente grave ocorrido nas rodovias e estradas federais do Ceará no período 2008-2017 foi: 3,9 vezes maior na zona rural em comparação aos grandes centros urbanos; 2,5 vezes maiores na madrugada em comparação ao pleno dia; 84% maior nas retas em comparação aos cruzamentos; 36% maior em 2017 em comparação a 2016; 17% maior no começo de mês em comparação ao resto de mês; 21% menor às quintas-feiras em comparação aos domingos; 129% maior nos acidentes decorrentes de velocidade incompatível em comparação à desobediência à sinalização; 60% maior nos acidentes decorrentes de ultrapassagem indevida em comparação à falta de atenção; 339% maior nos atropelamentos de pessoa em comparação às colisões traseiras; e 235% maior nas colisões frontais em comparação também às colisões traseiras. Outros resultaram também chamaram a atenção, a exemplo das férias e dos feriados, que não contribuíram para o aumento de fatalidade dentre os acidentes graves, apesar de a presença de feriados ter contribuído para o aumento da taxa de acidentes graves por dia. Essa constatação mostrou claramente que as variáveis que melhor descrevem os acidentes graves (em termos de frequência absoluta) não necessariamente são as mesmas que melhor descrevem os acidentes graves envolvendo fatalidade.

**Palavras-chave:** Acidente de trânsito. Fatalidade. Gravidade. *Half Normal Plot* (nhp). Modelos Lineares Generalizados (MLG). *Odds Ratio*. Polícia Rodoviária Federal (PRF). Razão de chances. Regressão logística. Rodovia.

## ABSTRACT

Traffic accidents are a social problem that must be faced by public power and society because of the enormous financial and social damage they cause. The traffic accidents on the highways and federal roads of Ceará in the period 2008-2017 were mapped according to several explanatory variables, among them Urbanized Location, which portrays the level of urbanization as a function of the frequency of accidents (dynamic criterion), Road Structure, Year, Beginning of the Month, Holidays, Day of the Week, Phase of the Day and Type of Accident. Due to the high cost, the fatal accidents stood out among the serious ones and led to the development of logistic models of spatial, temporal and specific nature. These models identified the variables that contributed, with a confidence level higher than 0.95, to the occurrence of fatality on highways and federal roads. Among the results obtained, it can be mentioned that the chance of fatality in a major accident occurred in the highways and federal roads of Ceará in the period 2008-2017 was: 3.9 times greater in the rural area compared to the large urban centers; 2.5 times higher at dawn compared to full day; 84% higher on straight lines compared to crosses; 36% higher in 2017 compared to 2016; 17% higher at the beginning of the month compared to the rest of the month; 21% lower on Thursdays compared to Sundays; 129% higher in accidents resulting from incompatible speed compared to disobedience to signaling; 60% higher in accidents due to undue oversight compared to lack of attention; 339% higher in person-to-person car rash compared to rear-end collisions; and 235% higher in frontal collisions compared to rear collisions. Others have also drawn attention, such as vacations and holidays, which did not contribute to the increase in fatality among major accidents, although the presence of holidays contributed to the increase in the rate of serious accidents per day. This finding clearly showed that the variables that best describe major accidents (in terms of absolute frequency) are not necessarily the ones that best describe fatal accidents involving fatality.

**Keywords:** Traffic accident. Fatality. Severity. Half Normal Plot (nhp). Generalized Linear Models (MLG). Odds Ratio. Federal Highway Police (PRF). Chance ratio. Logistic Regression. Road.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tela do SIGER/PRF .....	36
Figura 2 – Distribuição das BRs no Ceará .....	39
Figura 3 – Distribuição de frequência dos acidentes graves por quilômetro ajustado da BR 116 no Ceará no período 2008-2017 .....	42
Figura 4 – Distribuição de frequência da frequência dos acidentes graves por quilômetro ajustado da BR 116 no Ceará no período 2008-2017 .....	43
Figura 5 – Distribuição de frequência dos acidentes graves por quilômetro ajustado da BR 222 no Ceará no período 2008-2017 .....	44
Figura 6 – Distribuição de frequência da frequência dos acidentes graves por quilômetro ajustado da BR 222 no Ceará no período 2008-2017 .....	44
Figura 7 – Distribuição de frequência dos acidentes graves por quilômetro ajustado da BR 020 no Ceará no período 2008-2017 .....	45
Figura 8 – Distribuição de frequência da frequência dos acidentes graves por quilômetro ajustado da BR 020 no Ceará no período 2008-2017 .....	46
Figura 9 – Distribuição de frequência da frequência dos acidentes graves por quilômetro ajustado da mistura de BRs no Ceará no período 2008-2017 .....	47
Figura 10 – Funções de Pertinência do Local Urbanizado .....	48
Figura 11 – Modelo TSK de ajuste do Local Urbanizado .....	50
Figura 12 – Distribuição dos acidentes graves por hora ajustada no Ceará no período 2008-2017 .....	52
Figura 13 – Taxa de acidentes graves, a cada 100h, por fase do dia no Ceará no período 2008-2017 .....	54
Figura 14 – Taxas de acidentes graves, por dia, por tipo de feriado no Ceará no período 2008-2017 .....	57
Figura 15 – Taxas de acidentes graves, por dia, por tipo de feriado-fluxo no feriado no Ceará no período 2008-2017 .....	58
Figura 16 – As 15 maiores taxas de acidentes graves, por dia, por tipo de feriado-fluxo no feriado-nome do feriado no Ceará no período 2008-2017 .....	59
Figura 17 – Veículos registrados no Ceará no período 2008-2017 .....	60
Figura 18 – Taxa de acidentes graves por 10.000 veículos registrados no Ceará .....	61
Figura 19 – Automóveis e motocicletas registrados no Ceará no período 2003-2017 .....	62

Figura 20 – Distribuição de acidentes graves e fatais por tipo de pista no Ceará no período 2008-2017 .....	67
Figura 21 – Distribuição de acidentes graves e fatais por local urbanizado no Ceará no período 2008-2017 .....	68
Figura 22 – Distribuição de acidentes graves e fatais por estrutura viária no Ceará no período 2008-2017 .....	68
Figura 23 – Distribuição de acidentes graves e fatais por sentido da via no Ceará no período 2008-2017 .....	69
Figura 24 – Distribuição de acidentes graves e fatais por ano no Ceará no período 2008-2017 .....	70
Figura 25 – Distribuição de acidentes graves e fatais por mês no Ceará no período 2008-2017 .....	70
Figura 26 – Distribuição de acidentes graves e fatais por começo de mês no Ceará no período 2008-2017 .....	71
Figura 27 – Distribuição de acidentes graves e fatais por férias no Ceará no período 2008-2017 .....	72
Figura 28 – Distribuição de acidentes graves e fatais por dia da semana no Ceará no período 2008-2017 .....	72
Figura 29 – Distribuição de acidentes graves e fatais por tipo de feriado no Ceará no período 2008-2017 .....	73
Figura 30 – Distribuição de acidentes graves e fatais por fluxo nos feriados no Ceará no período 2008-2017 .....	74
Figura 31 – Distribuição de acidentes graves e fatais por hora no Ceará no período 2008-2017 .....	74
Figura 32 – Distribuição de acidentes graves e fatais por fase do dia no Ceará no período 2008-2017 .....	75
Figura 33 – Distribuição de acidentes graves e fatais por tipo de acidente no Ceará no período 2008-2017 .....	76
Figura 34 – Distribuição de acidentes graves e fatais por causa do acidente no Ceará no período 2008-2017 .....	77
Figura 35 – Half Normal Plot (hnp) do modelo logístico de natureza global .....	94

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais distribuições pertencentes à família exponencial .....	28
Tabela 2 – Ligações canônicas mais comuns .....	29
Tabela 3 – Distribuição de quilômetros por rodovia (BR) no Ceará.....	39
Tabela 4 – Frequência de acidentes graves nos 20 primeiros quilômetros da BR 116 no Ceará no período 2008-2017 .....	40
Tabela 5 – Configuração Fuzzy do Local Urbanizado .....	48
Tabela 6 – Base de regras do modelo TSK .....	49
Tabela 7 – Parâmetros do modelo TSK.....	49
Tabela 8 – Pontos de interseção do modelo TSK.....	49
Tabela 9 – Critério de Local Urbanizado .....	50
Tabela 10 – Distribuição dos acidentes graves por local urbanizado e por rodovias federais (BR) no Ceará no período 2008-2017 .....	50
Tabela 11 – Distribuição dos acidentes graves por minuto no Ceará no período 2008-2017 ..	51
Tabela 12 – Critério hierárquico híbrido da variável fase do dia .....	53
Tabela 13 – Distribuição dos acidentes graves e das horas por fase do dia no Ceará no período 2008-2017 .....	53
Tabela 14 – Distribuição dos acidentes graves e dos dias por tipo de feriado no Ceará no período 2008-2017 .....	56
Tabela 15 – Distribuição dos acidentes graves e dos dias por tipo de feriado-fluxo no feriado no Ceará no período 2008-2017 .....	57
Tabela 16 – Distribuição dos acidentes graves e dos dias por tipo de feriado-fluxo no feriado- nome do feriado no Ceará no período 2008-2017 .....	58
Tabela 17 – As 15 combinações mais violentas de Veículos .....	61
Tabela 18 – Distribuição dos acidentes graves por combinação de CNH dos condutores no Ceará no período 2008-2017 .....	63
Tabela 19 – Distribuição dos acidentes graves por combinação de gênero dos condutores no Ceará no período 2008-2017 .....	64
Tabela 20 – Qualidade do modelo logístico de natureza espacial.....	79
Tabela 21 – Parâmetros do modelo logístico de natureza espacial .....	79
Tabela 22 – Razões de chance ( <i>odds ratio</i> ) do modelo logístico de natureza espacial.....	80
Tabela 23 – Qualidade do modelo logístico de natureza temporal 1.....	81
Tabela 24 – Parâmetros do modelo logístico de natureza temporal 1 .....	81

Tabela 25 – Razões de chance ( <i>odds ratio</i> ) do modelo logístico de natureza temporal 1.....	82
Tabela 26 – Qualidade do modelo logístico de natureza temporal 2.....	84
Tabela 27 – Parâmetros do modelo logístico de natureza temporal 2.....	84
Tabela 28 – Razões de chance ( <i>odds ratio</i> ) do modelo logístico de natureza temporal 2.....	85
Tabela 29 – Qualidade do modelo logístico de natureza específica.....	86
Tabela 30 – Parâmetros do modelo logístico de natureza específica .....	87
Tabela 31 – Razões de chance ( <i>odds ratio</i> ) do modelo logístico de natureza específica.....	88
Tabela 32 – Qualidade do modelo logístico de natureza global.....	90
Tabela 33 – Parâmetros do modelo logístico de natureza global .....	90
Tabela 34 – Razões de chance ( <i>odds ratio</i> ) do modelo logístico de natureza global.....	92

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BAT	Boletim de Acidente de Trânsito
BR-BRASIL	Sistema de Registro de Acidentes de Trânsito da PRF
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
GCU	Grandes Centros Urbanos
IPEA	Instituto de Pesquisas Econômicas e Aplicadas
MLG	Modelos Lineares Generalizados
ONU	Organização das Nações Unidas
OR	<i>Odds Ratio</i>
PRF	Polícia Rodoviária Federal
RC	Razão de Chances
SIGER/PRF	Sistema de Informações Gerenciais da PRF

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>OS ACIDENTES DE TRÂNSITO .....</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>OS MODELOS LINEARES GENERALIZADOS (MLG).....</b>	<b>27</b>
<b>3.1</b>	<b>Definição .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2</b>	<b>Ligação canônica.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3</b>	<b>O modelo logístico.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.1</b>	<i>Interpretação dos parâmetros no modelo logístico.....</i>	<i>30</i>
<b>3.3.2</b>	<i>Seleção de variáveis .....</i>	<i>31</i>
<b>3.3.3</b>	<i>Variável independente categórica .....</i>	<i>31</i>
<b>3.4</b>	<b>Qualidade do ajuste do modelo .....</b>	<b>32</b>
<b>3.4.1</b>	<i>Função desvio (deviance) .....</i>	<i>32</i>
<b>3.4.2</b>	<i>Critério de Informação de Akaike (AIC) .....</i>	<i>33</i>
<b>3.4.3</b>	<i>Half Normal Plot (hnp) .....</i>	<i>34</i>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1</b>	<b>O Sistema de Informações Gerenciais da PRF (SIGER/PRF) .....</b>	<b>35</b>
<b>4.2</b>	<b>Definição das BRs .....</b>	<b>38</b>
<b>4.3</b>	<b>Análise e ajuste do Banco de Dados .....</b>	<b>40</b>
<b>4.3.1</b>	<i>Uniformização da variável Quilômetro.....</i>	<i>40</i>
<b>4.3.2</b>	<i>Reformulação da variável Local Urbanizado .....</i>	<i>41</i>
<b>4.3.2.1</b>	<i>BR 116 .....</i>	<i>42</i>
<b>4.3.2.2</b>	<i>BR 222 .....</i>	<i>43</i>
<b>4.3.2.3</b>	<i>BR 020 .....</i>	<i>45</i>
<b>4.3.2.4</b>	<i>Demais BR do Ceará .....</i>	<i>46</i>
<b>4.3.2.5</b>	<i>Mistura de BRs .....</i>	<i>46</i>
<b>4.3.3</b>	<i>Uniformização da variável Hora.....</i>	<i>51</i>
<b>4.3.4</b>	<i>Reformulação da variável Fase do Dia.....</i>	<i>53</i>
<b>4.3.5</b>	<i>Criação das variáveis Tipo de Feriado e Fluxo nos Feriados .....</i>	<i>54</i>
<b>4.3.6</b>	<i>Análise da variável Veículos.....</i>	<i>60</i>
<b>4.3.6.1</b>	<i>Frota de veículos .....</i>	<i>60</i>
<b>4.3.6.2</b>	<i>Tipos de veículos.....</i>	<i>61</i>
<b>4.3.7</b>	<i>Análise da variável Condutores.....</i>	<i>63</i>
<b>4.3.7.1</b>	<i>CNH dos condutores.....</i>	<i>63</i>

4.3.7.2	<i>Gênero dos condutores</i> .....	63
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>65</b>
<b>5.1</b>	<b>Descrição das variáveis</b> .....	<b>65</b>
5.1.1	<i>Variável resposta</i> .....	65
5.1.2	<i>Variáveis explicativas de natureza espacial</i> .....	65
5.1.3	<i>Variáveis explicativas de natureza temporal</i> .....	66
5.1.4	<i>Variáveis explicativas de natureza específica</i> .....	66
<b>5.2</b>	<b>Análise Descritiva</b> .....	<b>66</b>
5.2.1	<i>Análise descritiva das variáveis de natureza espacial</i> .....	66
5.2.2	<i>Análise descritiva das variáveis de natureza temporal</i> .....	69
5.2.3	<i>Análise descritiva das variáveis de natureza específica</i> .....	75
<b>5.3</b>	<b>Análise Inferencial</b> .....	<b>77</b>
5.3.1	<i>Modelo logístico de natureza espacial</i> .....	78
5.3.2	<i>Modelo logístico de natureza temporal</i> .....	80
5.3.3	<i>Modelo logístico de natureza específica</i> .....	86
5.3.4	<i>Modelo logístico de natureza global</i> .....	89
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>95</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>100</b>
	<b>APÊNDICE A – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA FREQUÊNCIA DE ACIDENTES GRAVES POR TRECHOS DE UM QUILOMETRO NAS BRS DO CEARÁ NO PERÍODO 2008-2017</b> .....	<b>103</b>
	<b>APÊNDICE B – SCRIPT DO MODELO TSK</b> .....	<b>106</b>
	<b>APÊNDICE C – RELAÇÃO DE FERIADOS</b> .....	<b>109</b>
	<b>APÊNDICE D – SCRIPT DO HALF NORMAL PLOT (HNP)</b> .....	<b>116</b>

## 1 INTRODUÇÃO

“Caminhões colidem na BR-116 e acidente deixa dois mortos no município de Alto Santo-CE. O caso aconteceu no quilômetro 253 da rodovia, na madrugada desta quarta-feira (13). O impacto foi tão forte que um dos veículos pegou fogo”, dizia a matéria do Diário do Nordeste em 13/12/2017. Logo depois, em 26/12/2017, o mesmo veículo de imprensa divulgou o seguinte: “Duas jovens morrem em acidente na BR-020. Segundo testemunhas, os corpos das jovens foram arremessados para fora do veículo”. Esse tipo de notícia aparece com certa frequência nos jornais e na televisão brasileiros e retrata um problema social e de saúde pública: os acidentes de trânsito nas rodovias e estradas federais.

Segundo o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), rodovias e estradas são vias rurais pavimentadas e não pavimentadas, respectivamente (CTB, 1997). Por constituírem o principal meio de escoamento da produção nacional, são o palco de muitos acidentes de trânsito, desde os sem vítima até os graves, incluindo os fatais.

São considerados acidentes de trânsito todo acontecimento não premeditado do qual resultem danos materiais e/ou pessoais, envolvendo veículo na via pública (PRF, 2015), sendo classificados como graves quando há pelo menos uma pessoa morta ou ferida gravemente (PRF, 2014a).

De acordo com o Plano Estratégico da Polícia Rodoviária Federal (PRF) para o período 2013-2020,

A violência do trânsito no Brasil vem crescendo ano após ano, representando a forma de violência contemporânea que mais produz impactos negativos à Sociedade e ao Estado, com elevados custos econômicos e sociais, principalmente no caso de acidentes graves, assim considerados aqueles que resultam em lesões de natureza grave ou em morte. Dentre os custos acima mencionados, podem-se mencionar os de natureza médico-hospitalares, previdenciários, resultantes dos congestionamentos do trânsito, resgate de pessoas acidentadas e remoção de veículos, perda da capacidade produtiva, adaptações na estrutura familiar, despesas judiciais, despesas com o aparato policial no atendimento de ocorrências, danos patrimoniais aos envolvidos e terceiros, além da dor e do sofrimento das vítimas dos acidentes e de seus familiares e a perda da qualidade de vida dessas pessoas (PRF, 2014a).

Segundo o Relatório de Pesquisa do Instituto de Pesquisas Econômicas e Aplicadas (IPEA), publicado em 2015 em parceria com a PRF,

Os acidentes de transporte terrestre no Brasil matam aproximadamente 43 mil pessoas por ano, segundo os dados do Sistema Único de Saúde (SUS), do Ministério da Saúde (MS), representando uma das principais causas de morte no país. Os acidentes nas rodovias federais respondem por cerca de 20% dessas mortes (8.227 mortes em 2014),

com cerca de 26 mil feridos graves por ano, com fortes impactos sobre o orçamento público e a renda das famílias atingidas. Além dos traumas causados às vítimas e aos familiares não passíveis de mensuração monetária, os acidentes de trânsito representam altos custos para toda a sociedade. Em média, cada acidente custou à sociedade brasileira R\$ 72.705,31, sendo que um acidente envolvendo vítima fatal teve um custo médio de R\$ 646.762,94. Esse tipo de acidente respondeu por menos de 5% do total de ocorrências, mas representou cerca de 35% dos custos totais, indicando a necessidade de intensificação das políticas públicas de redução não somente da quantidade dos acidentes, mas também da sua gravidade (IPEA-PRF, 2015).

Ainda conforme o mesmo relatório,

Em 2014 ocorreram 169.163 acidentes nas estradas federais fiscalizadas pela PRF, sendo que 8.227 pessoas perderam a vida e cerca de 100 mil ficaram feridas. Pouco mais de um quarto dos feridos teve lesões graves. Nesse ano, 4% dos acidentes apresentaram vítimas fatais; 37%, vítimas feridas e 59% foram acidentes sem vítimas. Aproximadamente 67% dos acidentes com vítimas fatais ocorreram em zonas rurais, e 23% das mortes foram causadas por excesso de velocidade ou ultrapassagem indevida. Nesse mesmo ano, ocorreram em média 463 acidentes e houve 23 mortos por dia. Esses acidentes envolveram 301.351 veículos, uma média de 1,78 veículos por ocorrência (IPEA-PRF, 2015).

Assim, os acidentes de trânsito constituem um grave problema social a ser enfrentado pelo poder público e pela sociedade, e atuar na diminuição dos acidentes graves nas rodovias federais é um desafio constante para a PRF, órgão permanente, organizado e mantido pela União e estruturado em carreira que se destina, na forma da lei, ao patrulhamento ostensivo das rodovias federais, conforme previsão constitucional.

A ação da PRF para a redução da violência no trânsito está calcada em seis pilares: fiscalização de trânsito, educação para o trânsito, suporte à vida, esforço legal, infraestrutura viária e segurança veicular. A PRF tem ação direta no pilar fiscalização de trânsito, devendo agir, preventivamente, por meio de sua presença ostensiva e, repressivamente, por meio de uma rigorosa fiscalização de trânsito, que engloba inclusive a utilização de tecnologias que potencializem sua capacidade de monitoramento e fiscalização de rodovias (PRF, 2014a).

O objeto de estudo desta pesquisa são os acidentes graves nas rodovias federais do estado do Ceará no período 2008-2017. Para fins de classificação de um acidente de trânsito numa rodovia federal, o Manual de Procedimentos Operacionais nº 015, que trata do Atendimento de Acidentes, adota a seguinte classificação do estado físico das pessoas envolvidas:

ILESO: pessoa que não apresente nenhum sinal ou sintoma de lesões provenientes do acidente, independentemente de ter sido encaminhada ou não ao atendimento hospitalar.

LESÕES LEVES: lesão em pessoa que, por consequência do acidente, apresente algum sinal ou sintoma da lista a seguir:

- Dores em geral em área sem órgãos vitais;
- Lacerações leves, contusões e abrasões (primeiros socorros: simples curativos);
- Todas as queimaduras de 1º grau (até 10% da superfície corporal);
- Fratura dos dentes;
- Dores ou rigidez muscular da parede torácica, abrasão por cinto de segurança ou por outras partes do veículo;
- Pequenas hemorragias externas;
- Pequenas entorses, luxações e/ou fraturas fechadas e/ou abertas dos dedos;
- Contusão cerebral leve, com dores de cabeça, tonturas, mas sem perda de consciência;
- Queixas de dores de pescoço aos movimentos, sem alterações anatômicas ou radiológicas;
- Contusão e abrasão dos olhos e seus anexos.

LESÕES GRAVES: lesão em pessoa que, por consequência do acidente, não foi classificada como leve ou não tenha como resultado o óbito.

MORTO: pessoa envolvida em acidente de trânsito, em óbito, com sinais evidentes de morte identificados no local, em decorrência das lesões do acidente.

Portanto, em um acidente de trânsito, a PRF classifica uma pessoa com “lesões graves” por exclusão, quando não enquadrada nas demais classificações (“ilesa”, “com lesões leves” ou “morta”). Já os acidentes classificados como graves são assim classificados quando há pelo menos um “morto” ou um ferido com “lesões graves” (PRF, 2014a).

A PRF possui um Sistema de Informações Gerenciais, denominado SIGER/PRF, que atua como uma plataforma onde residem diversos sistemas a fim de registrar as atividades realizadas pelo órgão. Entre esses sistemas, citam-se o Sistema de Registro de Acidentes (BR-BRASIL), que registrou os acidentes de trânsito até 2016; o Boletim de Acidente de Trânsito (BAT), que registra os acidentes a partir de 2017; o Boletim de Ocorrências Criminais (BOP), que registra as ocorrências criminais; e o Sistema de Infrações de Trânsito (SISCOM), que registra os autos de infração de trânsito.

O objetivo geral desta pesquisa é analisar os acidentes graves ocorridos nas rodovias federais do Ceará no período 2008-2017, contribuindo para o direcionamento de intervenções e políticas públicas preventivas por parte da PRF.

Os objetivos específicos são:

- a) Propor a uniformização e a reformulação de variáveis do SIGER/PRF, além da criação de outras variáveis;
- b) Descrever, em termos de variáveis do SIGER/PRF, onde, quando e como ocorreram os acidentes graves; e
- c) Propor, em termos de variáveis do SIGER/PRF, modelos estatísticos para análise da gravidade dos acidentes, baseados nos Modelos Lineares Generalizados (MLG).

A fundamentação do objetivo está nos 7.989 acidentes graves ocorridos nas rodovias e estradas federais do Ceará no período 2008-2017, sendo 1.927 deles fatais, resultando numa média de 66,57 acidentes graves/mês e de 16,06 acidentes fatais/mês.

A metodologia desta pesquisa apresenta natureza teórica e aplicada. Teórica, com a finalidade de realizar levantamento bibliográfico acerca de procedimentos quantitativos a serem utilizados para a análise dos dados disponíveis no trabalho, o objeto da pesquisa. De natureza prática, com finalidade exploratória, a fim de investigar o comportamento dos possíveis resultados encontrados nessas análises. Para tanto, foram utilizados os dados de acidentes graves ocorridos no Ceará no período 2008-2017, com *status* de ocorrência “Encerrada” e disponíveis no SIGER/PRF no dia 15 de janeiro de 2018.

O presente trabalho encontra-se dividido em 6 capítulos. No presente capítulo introdutório, são apresentadas as diretrizes gerais do estudo, tais como contextualização, problematização e justificativa do assunto abordado, o objetivo geral, os objetivos específicos e a metodologia adotada. O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica dos acidentes de trânsito. O Capítulo 3 traz a fundamentação teórica dos modelos estatísticos usados na pesquisa. O Capítulo 4, ao descrever o SIGER/PRF, definir as rodovias federais (BRs) e analisar o banco de dados dos acidentes graves, traz o material e a metodologia utilizados na pesquisa. Enquanto o Capítulo 5 apresenta os resultados alcançados e as discussões pertinentes, o Capítulo 6 traz a conclusão do trabalho. Depois desta, vêm as referências bibliográficas que serviram de base (empírica e teórica) ao desenvolvimento do trabalho, bem como os apêndices desenvolvidos na pesquisa.

## 2 OS ACIDENTES DE TRÂNSITO

Em 2011, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou a Década de Ação pela Segurança no Trânsito 2011-2020, envolvendo governos de todo o mundo na prevenção dos acidentes no trânsito. Segundo a ONU, os acidentes de trânsito são responsáveis pela morte de 1,3 milhão de pessoas por ano e pelo ferimento de 20 a 50 milhões de pessoas, constituindo a nona causa de mortes no mundo. Em virtude dessas taxas, propôs-se uma meta: reduzir pela metade as mortes e os feridos por acidentes em estradas na década 2011-2020 (ONU, 2011).

Dentre as principais causas de acidentes no trânsito, está a imprudência dos motoristas, haja vista 47,7% dos 6.742 acidentes fatais ocorridos em 2014 nas rodovias e estradas federais terem sido causados por falta de atenção (20,3%), velocidade incompatível (13,1%), ultrapassagem indevida (7,8%) e ingestão de álcool (6,5%) (IPEA-PRF, 2015). Em 2013, em Belo Horizonte, uma pesquisa com 1.656 condutores revelou que 68,7% dos entrevistados consideraram dirigir alcoolizado como a infração mais grave (CAMPOS, SALGADO e ROCHA, 2013). Em 2012, no Sudão, um estudo indicou que a negligência dos condutores, a má condução e o excesso de velocidade estão entre as principais causas de acidentes de trânsito, sendo os usuários da estrada responsáveis por aproximadamente 90% deles (ALI e TAYFOUR, 2012). Em 2016, em Wyoming, comunidades rurais e indianas reconheceram que o uso de cinto de segurança e o excesso de velocidade estão entre os principais contribuintes para colisões críticas em suas estradas (SHINSTINE, WULFF e KSAIBATI, 2016).

Um recurso muito utilizado na Estatística consiste em comparar duas chances (também compreendidas como riscos) para a ocorrência de um determinado evento por meio da razão entre ambas, o que se convencionou chamar Razão de Chances (RC). Segundo esse conceito, um evento pode apresentar chance (risco) de ocorrência igual, maior ou menor que outro, de modo que a razão entre essas chances mostra qual dos dois eventos é o mais provável de ocorrer.

Os tipos de acidentes mais comuns são a colisão frontal e o atropelamento. Em 2014, nas rodovias e estradas federais, a colisão frontal foi responsável por 33,7% das mortes, enquanto o atropelamento de pessoa, por 14,6%. Na colisão frontal, morreram 40,4 pessoas a cada 100 acidentes, enquanto no atropelamento de pessoas, 29,1 (IPEA-PRF, 2015). Entre 2004 e 2008, em Fortaleza, dos 118.830 acidentes de trânsito, 78,1% foram colisão/abalroamento e 11,9%, atropelamentos. Comparado com colisões ou abalroamentos, o atropelamento

apresentou risco 6,32 vezes maior para acidentes fatais (ALMEIDA, FILHO, *et al.*, 2013). Em 2005 no Ceará, um estudo apontou que o tipo de acidente mais prevalente envolvendo motocicleta foi a colisão, com 211 ocorrências (69%) (ANDRADE, LIMA, *et al.*, 2009). Entre 1996 e 2007, no DF, o tipo de acidente mais frequente envolvendo motociclistas foi a colisão com outro veículo (39,7%) (MONTENEGRO, DUARTE, *et al.*, 2011).

O tipo de pista também exerce grande influência na ocorrência dos acidentes de trânsito, haja vista a pista simples ter sido palco de 89,7% das 6.875 colisões frontais em 2014 nas rodovias e estradas federais e de 93,9% dos 2.774 mortos nesse tipo de acidente (IPEA-PRF, 2015).

Os tipos de veículos mais comuns envolvidos em acidentes de trânsito são as motocicletas e os caminhões. Em 2014, nas rodovias e estradas federais, as motocicletas, por suas características intrínsecas, apresentaram baixas condições de proteção aos usuários em colisões e quedas, estando presente em cerca de 30% das 8.227 mortes. Já os caminhões estiveram envolvidos em 56.408 acidentes de trânsito e 3.537 mortes, decorrendo 43,7% delas de colisão frontal (IPEA-PRF, 2015). Em 2005, em SP, os atendimentos aos acidentes terrestres afetaram mais os motociclistas (29,8%), pedestres (24,1%) e ciclistas (18,5%) (GAWRYSZEWSKI, MENDES, *et al.*, 2009). Em 2004, em Maringá-PR, a fragilidade da motocicleta também ficou evidenciada quando 1.863 (78,87%) de 2.362 motociclistas apresentaram ferimentos (OLIVEIRA e SOUSA, 2012). Entre 2004 e 2008, em Fortaleza-CE, dos 118.830 acidentes de trânsito registrados, 43,7% envolveram automóveis ou caminhões e 26,5%, motociclistas (ALMEIDA, FILHO, *et al.*, 2013). Entre junho de 2012 e setembro de 2013, em SP, uma pesquisa com 684 motoristas de caminhão revelou que 48,0% já sofreram pelo menos um algum acidente de trânsito na vida e que motoristas menos experientes tiveram maiores chances de sofrer acidente que seus colegas mais experientes ( $RC = 1,86$ ) (OLIVEIRA, ALMEIDA, *et al.*, 2016). Entre 2004 e 2008, em Fortaleza-CE, os acidentes com apenas um veículo tiveram chance 4,15 vezes maior de gerar óbito quando comparados com acidentes com dois veículos (ALMEIDA, FILHO, *et al.*, 2013). Em 2016, em Louisiana, constatou-se que os condutores de caminhões leves em rodovias indivisíveis têm um alto risco de acidente de trânsito, o que pode implicar em um problema de velocidade (DAS e SUN, 2016). Ainda em 2016, em Wyoming, na Índia, um estudo baseado em MLG mostrou que, em estrada rural interestadual, as chances estimadas de um acidente ser severo são 26,6 vezes mais prováveis quando envolve motocicleta viajando acima da velocidade média em comparação a outro acidente que não envolve motocicleta, e sim um veículo que também esteja viajando acima da

velocidade média (SHINSTINE, WULFF e KSAIBATI, 2016). Em 2017, em Nevada, modelos mostraram associação entre acidentes de trânsito com vítimas feridas e fatores como dias da semana, motocicletas e excesso de velocidade, sendo sugerido ao Departamento de Transporte de Nevada um incentivo ao uso do capacete (SHRESTHA e SHRESTHA, 2017).

Os finais de semana são responsáveis pela maior concentração de acidentes de trânsito, já que 50,8% das 1.204 mortes de pedestres nas rodovias e estradas federais em 2014 ocorreram nos finais de semana (sexta-feira, sábado e domingo), sendo o período noturno responsável pela maior parte delas, com maior concentração entre 18 e 20h (IPEA-PRF, 2015). À luz do dia, entre 2004 e 2008, em Fortaleza-CE, ocorreram 67,6% dos 118.830 sinistros, recebendo o período da tarde (entre 12 e 18h) o maior número deles (35,1%). Os dias da semana com maior concentração foram sábado (17,3%), sexta-feira (15,9%) e domingo (14,5%). Restringindo-se apenas aos acidentes fatais, o domingo apresentou-se como o dia da semana mais letal, tendo chance de óbito 2,11 vezes maior do que a quarta-feira (ALMEIDA, FILHO, *et al.*, 2013). Em 2005, um estudo feito com 306 vítimas de acidentes de motocicleta em todo o Ceará mostrou que 154 (mais da metade) se acidentaram aos sábados e domingos e 117, entre 18 e 24h (ANDRADE, LIMA, *et al.*, 2009). Entre 1996 e 2007, no DF, a maior proporção de óbitos (17,4% dos 580 decorrentes do uso de motocicletas) ocorreu no domingo (MONTENEGRO, DUARTE, *et al.*, 2011). Na Turquia, em 2012, um estudo mostrou que a probabilidade de lesão ou morte em acidentes de trânsito durante a noite é quase duas vezes maior do que nas férias (OLMUS e ERBAS, 2012).

Também contribuem para ocorrência de acidentes jornadas de trabalho longas e sem rotinas de recuperação adequadas, muitas vezes impostas pela necessidade do cumprimento de metas, e, embora o conhecimento da ciência sobre fadiga, sono, trabalho em turnos e fisiologia tenha crescido significativamente nos últimos anos, a legislação e as práticas empresariais falham ao incorporá-lo (MELLO, NOCE, *et al.*, 2009). O sono foi a causa associada a 3,8% dos acidentes fatais ocorridos em 2014 nas rodovias e estradas federais do país (IPEA-PRF, 2015). Em 2008, num estudo comparativo entre 206 caminhoneiros portugueses e 200 brasileiros, foi constatado que os portugueses têm mais idade e maior grau de escolaridade e dormem mais tanto nos dias de trabalho como nos de folga. Já os brasileiros acordam mais cedo tanto nos dias de trabalho como nos de folga. A escala de qualidade do sono PSQI demonstrou presença de distúrbios do sono em 35,40% dos brasileiros e 21,50% dos portugueses ( $p = 0,0019$ ). Além disso, houve maior prevalência de SED entre brasileiros (32,00% com escore  $> 9$ ) do que entre portugueses (21,00%) ( $p = 0,0015$ ) (SOUZA, PAIVA

e REIMÃO, 2008). Entretanto, como ocorre em outros países, pouca atenção tem sido dada ao problema da sonolência excessiva na direção enquanto causa de acidentes, especialmente entre os motoristas profissionais, como os de caminhões e de transportes públicos, talvez porque sua caracterização seja de difícil aferição, uma vez que a sonolência não é quantificada rapidamente, restando aos investigadores vestígios como ausência de marcas de pneus, colisão em objetos fixos ou o próprio relato do motorista (CANANI e BARRETO, 2001).

O gênero masculino é a maior vítima dos acidentes de trânsito. Em 2005, em SP, o gênero masculino concentrou 74,2% dos atendimentos feitos por serviços de emergência a acidentes de transporte terrestre. Os jovens adultos na faixa etária entre 20 e 29 anos concentraram a maior proporção de casos, e os homens apresentaram chance 1,5 vez maior de serem internados, transferidos ou de morrerem quando comparados com as mulheres (GAWRYSZEWSKI, MENDES, *et al.*, 2009). Em 2004, em Maringá-PR, o gênero masculino respondeu por 1.861 (78,79%) dos indivíduos, gerando uma proporção com o gênero feminino de 4,2:1, tendo a maioria (51,49%) de 20 a 29 anos. A chance de as motociclistas mulheres sofrerem ferimentos em acidentes de trânsito foi 3,97 vezes maior que a de motociclistas homens (OLIVEIRA e SOUSA, 2012). Em 2005, um estudo com 306 vítimas de acidentes de motocicleta em todo o Ceará apontou que 301 eram do gênero masculino e 138 tinham entre 18 e 29 anos de idade (ANDRADE, LIMA, *et al.*, 2009). Entre 1996 e 2007, no DF, dos 580 óbitos decorrentes do uso de motocicletas, a grande maioria eram homens (94,3%), com idade entre 20 e 39 anos (73,8%). Entre setembro de 2007 e agosto de 2008, em Rio Branco-AC, de 1.516 adultos entrevistados, foi observada maior probabilidade de referir acidente de trânsito entre homens, com idade entre 18 e 25 anos (MAGALHÃES, LOPES, *et al.*, 2011). Na Turquia, em 2012, constatou-se que motoristas em acidentes à luz do dia são mais propensos a serem do sexo masculino (OLMUS e ERBAS, 2012).

A falta de experiência de condução também contribui para esse cenário caótico dos acidentes de trânsito. Entre 2004 e 2008, em Fortaleza-CE, condutores menos experientes, com menos de cinco anos de habilitação tiveram risco 1,78 vezes maior de se envolverem em acidentes com óbito em comparação com os mais experientes (ALMEIDA, FILHO, *et al.*, 2013).

Em Fortaleza, entre 2004 e 2008, comparando-se o nível federal com o estadual, os acidentes mais graves situaram-se naquele (ALMEIDA, FILHO, *et al.*, 2013), e esse resultado provavelmente tem relação com outro fator muito influente nos acidentes de trânsito: o limite de velocidade das vias, que é maior nas vias federais. Na Indonésia, onde a proporção de

motocicletas é mais da metade da população de veículos, em 2018, mostrou-se que acelerar acima dos 40 km/h está associado a mais acidentes envolvendo motocicletas (SULISTIO, 2018). Voltando ao Brasil, o trecho de 10 quilômetros de rodovia federal no país com maior quantidade de mortes em 2014 foi o do quilômetro 0 ao quilômetro 10 da BR 116, em Fortaleza-CE (IPEA-PRF, 2015).

Apesar do aumento de 121% na frota de veículos automotores no Brasil nos últimos dez anos, os índices de acidente por frota caíram bastante nas rodovias federais, a exemplo do índice de mortes para cada mil veículos, que caiu cerca de 40% (IPEA-PRF, 2015). Ainda assim, em 2014, os acidentes de trânsito custaram 40 bilhões de reais ao país, sendo 12,3 bilhões referentes às rodovias e estradas federais, onde, em média: a) 23 pessoas morreram por dia; b) o custo de um acidente não-fatal foi de R\$ 72.705,31; e c) o custo de um acidente fatal foi de R\$ 646.762,94. Vê-se que, quanto maior a gravidade do acidente, maiores os custos dele decorrentes, aumentando-se substancialmente na presença de fatalidade (IPEA-PRF, 2015).

### 3 OS MODELOS LINEARES GENERALIZADOS (MLG)

Durante muitos anos, os modelos mais utilizados na tentativa de descrever a maioria dos fenômenos aleatórios eram os normais lineares, ainda que o fenômeno não apresentasse resposta normal, situação muitas vezes contornada com transformações (PAULA, 2013).

Em 1972, foi proposto o MLG como um modelo mais amplo que o Linear (baseado na distribuição normal de probabilidade da variável resposta). No MLG, a variável resposta pode assumir diversas formas, desde que pertencentes à família exponencial (uma classe específica de distribuições com determinadas características). Em essência, um MLG consiste em ligar o valor esperado da variável resposta (não necessariamente normal) a um preditor linear (conjunto de variáveis explicativas) por meio de uma função de ligação (não necessariamente a função identidade). No mesmo artigo, os pesquisadores também propuseram um processo iterativo de estimação dos parâmetros e introduziram o conceito de desvio (*deviance*), bastante utilizado na avaliação da qualidade do ajuste do modelo (NELDER e WEDDERBURN, 1972).

#### 3.1 Definição

Supondo  $Y_1, \dots, Y_n$  variáveis aleatórias independentes com função densidade de probabilidade dada por:

$$f(y_i; \theta_i, \phi) = \exp\{\phi[y_i\theta_i - b(\theta_i)] + c(y_i, \phi)\} \quad (1)$$

Supondo as condições de regularidade  $E\left[\frac{\partial \ln f(Y_i; \theta_i, \phi)}{\partial \theta_i}\right] = 0$  e  $E\left[\frac{\partial^2 \ln f(Y_i; \theta_i, \phi)}{\partial \theta_i^2}\right] = -E\left[\left\{\frac{\partial \ln f(Y_i; \theta_i, \phi)}{\partial \theta_i}\right\}^2\right] \forall i$ , tem-se  $E(Y_i) = \mu_i = b'(\theta_i)$  e  $Var(Y_i) = \phi^{-1}V(\mu_i)$ , em que  $V_i = V(\mu_i) = d\mu_i/d\theta_i$  é a função de variância e  $\phi^{-1} > 0$  é o parâmetro de dispersão (seu inverso é o parâmetro de precisão).

A função de variância tem uma peculiaridade: é única para cada tipo de função densidade de probabilidade da família exponencial. Desse modo, ao ser identificada a classe da família exponencial, identifica-se também sua função de variância e vice-versa.

Um modelo do tipo MLG é definido por duas equações: a que define a distribuição de probabilidade da variável resposta (1) e a que liga a média da variável resposta ao preditor linear - parte sistemática constituída de variáveis explicativas (2).

$$g(\mu_i) = \eta_i \quad (2)$$

Em (2),  $\eta_i = \mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta}$  é o preditor linear,  $\boldsymbol{\beta} = (\beta_0, \dots, \beta_p)^T$  é o vetor de parâmetros desconhecidos,  $p$  é o número de variáveis explicativas,  $n$  é o número de observações com  $p < n$ ,  $\mathbf{x}_i = (x_{i1}, \dots, x_{ip})^T$  é uma matriz de variáveis explicativas e  $g(\cdot)$  é a função de ligação monótona e diferenciável. A Tabela 1 traz as principais funções densidade de probabilidade da família exponencial.

Tabela 1 – Principais distribuições pertencentes à família exponencial

Distribuição	$b(\boldsymbol{\theta})$	$\boldsymbol{\theta}$	$\boldsymbol{\phi}$	$V(\boldsymbol{\mu})$
Normal	$\theta^2/2$	$\mu$	$\sigma^{-2}$	1
Poisson	$e^\theta$	$\ln \mu$	1	$\mu$
Binomial	$\ln(1 + e^\theta)$	$\ln[\mu/(1 - \mu)]$	$n$	$\mu(1 - \mu)$
Gama	$-\ln(-\theta)$	$-1/\mu$	$1/(CV)^2$	$\mu^2$
Normal Inversa	$-\sqrt{-2\theta}$	$-1/2\mu^2$	$\phi$	$\mu^3$

Fonte: PAULA (2013).

A título de ilustração, se  $Y^*$  for a proporção de eventos de interesse em  $n$  ensaios independentes, cada um com probabilidade de ocorrência  $\mu$ , então  $nY^* \sim \text{Binomial}(n, \mu)$  e a função de probabilidade de  $Y^*$  fica expressa por:

$$P[Y^* = y^*] = \binom{n}{ny^*} \mu^{ny^*} (1 - \mu)^{n-ny^*} \quad (3)$$

$$P[Y^* = y^*] = \exp\left\{ \ln \binom{n}{ny^*} + ny^* \ln \left( \frac{\mu}{1 - \mu} \right) + n \ln(1 - \mu) \right\} \quad (4)$$

com  $0 < \mu, y^* < 1$ ,  $\phi = n$ ,  $\theta = \ln\left(\frac{\mu}{1-\mu}\right)$ ,  $b(\theta) = \ln(1 + e^\theta)$ ,  $c(y^*, \phi) = \ln\left(\frac{\phi}{\phi y^*}\right)$  e função de variância  $V(\mu) = \mu(1 - \mu)$ .

### 3.2 Ligação canônica

Há uma ligação específica entre a média da variável resposta e o preditor linear que garante concavidade à função de verossimilhança e facilidade na obtenção de resultados assintóticos (grandes amostras): a ligação canônica, caracterizada pela coincidência (igualdade) entre o parâmetro  $\theta_i$  e o preditor linear  $\eta_i = \sum_{j=0}^p x_{ij}\beta_j$ . A Tabela 2 apresenta as ligações canônicas mais comuns.

Distribuição	Ligação canônica
Normal	$\mu = \eta$
Poisson	$\ln \mu = \eta$
Binomial	$\ln[\mu/(1 - \mu)] = \eta$
Gama	$\mu^{-1} = \eta$
Normal Inversa	$\mu^{-2} = \eta$

Fonte: PAULA (2013).

No modelo binomial, a função de ligação canônica é também chamada de função logito.

### 3.3 O modelo logístico

Entre os modelos de regressão, há um específico, chamado de modelo logístico, em que a variável resposta  $Y_i$  assume apenas dois valores ( $Y_i = 1$  e  $Y_i = 0$ ), denominados “evento de interesse” e “evento de interesse complementar”, respectivamente. A variável resposta binária  $Y_i$  passa, então, a ter uma distribuição Bernoulli  $(1, \pi_i)$  com probabilidade do evento de interesse dada por  $P(Y_i = 1) = \pi_i$  e probabilidade do evento de interesse complementar dada por  $P(Y_i = 0) = 1 - \pi_i$ .

Quando a variável resposta se relaciona com apenas uma variável de entrada, diz-se que o modelo logístico é simples; quando se relaciona com mais de uma variável de entrada, diz-se que o modelo logístico é múltiplo.

Supondo uma amostra de  $n$  observações independentes em que  $X_i$  é o vetor das variáveis explicativas,  $m_i$  é a quantidade de itens verificados na amostra (número de ensaios) e  $y_i$  é o número de eventos de interesse em  $m_i$  ensaios, assume-se que a variável resposta tem distribuição de probabilidade binomial  $Y_i \sim B(m_i, \pi_i)$ , tal que:

$$P[Y_i = y_i] = \binom{m_i}{y_i} \pi_i^{y_i} (1 - \pi_i)^{m_i - y_i} \quad (5)$$

Como já dito anteriormente, o modelo logístico é usado em regressões com uma variável (modelo simples) ou mais variáveis (modelo múltiplo) explicativas. Para um conjunto de  $p$  variáveis explicativas independentes denotadas pelo vetor  $X = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_p)^T$ , a função de ligação e a esperança são dadas por:

$$g(X) = \ln\left(\frac{\pi(X)}{1 - \pi(X)}\right) = \eta = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p \quad (6)$$

$$E(Y) = \pi(X) = \frac{e^{g(X)}}{1 + e^{g(X)}} \quad (7)$$

Nesse modelo, é bastante comum a utilização do método da máxima verossimilhança para estimação dos seus parâmetros (coeficientes). Segundo Paula (2013), a regressão logística tem, como uma de suas grandes vantagens, a facilidade de interpretação direta dos parâmetros (coeficientes) do modelo como medidas de associação, sendo um dos principais métodos de modelagem estatística de dados.

### 3.3.1 Interpretação dos parâmetros no modelo logístico

A interpretação dos parâmetros da regressão logística é feita comparando-se a probabilidade do evento de interesse com a do evento de interesse complementar para um determinado vetor de entrada  $X = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_p)^T$ , criando a função *Odds* expressa em (8).

$$Odds(X) = \frac{\pi(X)}{[1 - \pi(X)]} = \frac{\frac{e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p}}}{1 - \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p}}} = e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p} \quad (8)$$

Essa interpretação ganha ainda mais efetividade quando se comparam os valores da função *Odds* para dois vetores de entrada distintos ( $X_a$  e  $X_b$ ), criando a função *Odds Ratio* (OR), traduzida como Razão de Chances (RC), expressa em (9).

$$OR = \frac{Odds(X_a)}{Odds(X_b)} = \frac{e^{X_a\beta}}{e^{X_b\beta}} = e^{(X_a - X_b)\beta} \quad (9)$$

A função *OR* indica quantas vezes a chance de ocorrer o evento sob análise para um determinado conjunto de dados ( $X_a$ ) é maior ou menor do que para outro conjunto de dados ( $X_b$ ), e isso tem um efeito prático muito grande: ajuda a definir os grupos de pesquisa (vetores  $X$ ) mais suscetíveis à ocorrência do evento.

### 3.3.2 Seleção de variáveis

Em 1989 foi proposto um dos métodos mais difundidos para a seleção de variáveis em um MLG: o método *Stepwise*, que se baseia em dois critérios estatísticos, um para a entrada de variáveis no modelo, outro para a saída (geralmente menos restritivo que o de entrada), finalizando o processo iterativo quando nenhuma variável mais puder entrar ou sair do modelo (HOSMER e LEMESHOW, 1989).

Trata-se de um algoritmo misto de inclusão e eliminação de variáveis explicativas segundo a importância delas, medida por algum critério estatístico (PAULA, 2013). Essa importância pode ser medida, por exemplo, pelo nível de significância (também chamado de valor  $p$  ou nível descritivo) do teste da razão de verossimilhanças entre os modelos que incluem ou excluem as variáveis explicativas sob análise. Quanto menor for o valor  $p$ , mais relevante será a variável explicativa na construção do modelo.

É comum algumas variáveis explicativas ou interações de interesse ou com algum significado no estudo serem mantidas no modelo desde o início, ainda que não significativas, bem como a seleção de interações ser feita entre as de interesse ou com algum significado no problema (PAULA, 2013).

### 3.3.3 Variável independente categórica

Quando se tem, no modelo logístico, uma variável explicativa categórica (não numérica) dividida em  $k$  categorias, transformam-se  $k - 1$  categorias em variáveis *dummies* dicotômicas que recebem 1 ou 0 em função de sua incidência ou não, respectivamente. Quando as  $(k - 1)$  categorias receberem valor 0, a categoria remanescente será a categoria de

referência, estando seu parâmetro inserido no intercepto do modelo. Com essa transformação, também chamada de codificação, pode-se aplicar a mesma teoria desenvolvida para o modelo logístico de variáveis explicativas contínuas.

### 3.4 Qualidade do ajuste do modelo

Um modelo bem ajustado deve ter uma pequena distância entre os valores estimados e os dados observados e ainda ser parcimonioso (poucas variáveis explicativas). Para que um modelo explique muito bem os dados, terá um número grande de variáveis explicativas (parâmetros), dificultando sua interpretação. Por outro lado, um modelo com poucas variáveis explicativas, apesar de fácil interpretação, muito provavelmente não representará bem os dados.

#### 3.4.1 Função desvio (*deviance*)

Se os dados tiverem  $n$  observações, podem ser ajustados modelos com até  $n$  parâmetros. O modelo mais simples, chamado de nulo, tem só um parâmetro ( $p = 1$ ) e um valor  $\mu$  comum a todos os dados. No outro extremo, o modelo mais complexo, chamado de saturado ou completo, tem  $n$  parâmetros ( $p = n$ ) e valores  $\mu_1, \dots, \mu_n$  linearmente independentes, ajustando-se perfeitamente e reproduzindo os próprios dados. Em termos práticos, o modelo nulo é muito simples e o saturado, não informativo, já que não sumariza os dados, e sim os repete. O modelo sob pesquisa ou corrente situa-se entre o nulo e o saturado (CORDEIRO e DEMÉTRIO, 2007).

Os autores da teoria do MLG, Nelder e Wedderburn, propuseram também no mesmo artigo de 1972, como medida de discrepância de um MLG, o conceito de desvio (*deviance*) expresso por:

$$S_p = 2(\hat{l}_n - \hat{l}_p) \quad (10)$$

sendo  $\hat{l}_n$  e  $\hat{l}_p$  os máximos do logaritmo da função de verossimilhança para os modelos saturado e corrente (sob pesquisa), respectivamente. Nota-se em (10) que o modelo saturado é usado como referência do ajuste do modelo corrente (sob pesquisa), corroborando Paula (2013), para quem a função desvio é “uma distância entre o logaritmo da função de verossimilhança do

modelo saturado (com  $n$  parâmetros) e do modelo sob investigação (com  $p$  parâmetros) avaliado na estimativa de máxima verossimilhança  $\hat{\beta}$ ”.

Para Cordeiro e Demétrio (2007, p. 63), um modelo bem ajustado com uma verossimilhança máxima grande tem um pequeno desvio. No entanto, aumentar o número de covariáveis a fim de diminuir o desvio trará complexidade à interpretação dos dados de modo que, em termos práticos, buscam-se modelos simples com desvios moderados, situados entre os mais complicados (saturado) e os que mal explicam os dados (nulo), envolvendo a seleção do modelo, em certa medida, uma análise subjetiva entre o grau de complexidade e a qualidade do ajuste.

Calculam-se os desvios de qualquer MLG a partir da estimativa de máxima verossimilhança de  $\mu$ , dada por  $\hat{\mu} = g^{-1}(\mathbf{X}\hat{\beta})$ . O desvio é sempre maior ou igual a zero e vai diminuindo à medida que o modelo recebe covariáveis em sua parte sistemática, chegando a zero no modelo saturado. Assim, quanto menor for o desvio, melhor será o ajuste do modelo e menor será a métrica  $\|y - \hat{\mu}\|$ , definida na escala da função desvio.

Ainda segundo Cordeiro e Demétrio (2007), foram definidos graus de liberdade do desvio do modelo como sendo a diferença entre o número de observações ( $n$ ) e o posto da matriz do modelo corrente ou sob pesquisa ( $p$ ). Em alguns modelos específicos, o desvio iguala-se às estatísticas comumente usadas em testes; entretanto, para se testar a adequação de um MLG, o valor do desvio deve ser comparado ao percentil de alguma distribuição de probabilidade de referência. No geral, apenas alguns resultados assintóticos (grandes amostras) estão disponíveis, e, para alguns deles, o desvio não apresentou distribuição  $\chi_{n-p}^2$ . Porém, na prática, é usual testar um MLG comparando-se o valor do desvio com os percentis da distribuição  $\chi_{n-p}^2$ , podendo haver uma indicação de que o ajuste do modelo está adequado quando o desvio se encontra próximo ao valor esperado  $n - p$  de uma distribuição  $\chi_{n-p}^2$ .

### 3.4.2 Critério de Informação de Akaike (AIC)

O Critério de Informação de Akaike (AIC) destina-se à seleção de modelos estatísticos de modo que o melhor é aquele com menor valor AIC (AKAIKE, 1974). Ele se diferencia dos demais métodos de seleção de modelos por ser um “processo de minimização que não envolve testes estatísticos” (PAULA, 2013). Assim como o desvio, trata-se de uma medida relativa da qualidade do ajuste de um modelo estimado, definido por:

$$AIC = -2\hat{l}_p + 2p \quad (11)$$

sendo  $\hat{l}_p$  o máximo do logaritmo da função de verossimilhança para o modelo corrente (sob pesquisa) e  $p$  o número de parâmetros (variáveis explicativas). À medida que  $p$  aumenta, o AIC aumenta pelo termo  $2p$ , porém diminui pelo termo  $-2\hat{l}_p$ , já que a verossimilhança estará cada vez maior e mais próxima da do modelo saturado (completo). Como o modelo de menor AIC é o mais desejável, a tarefa do pesquisador consiste em achar um  $p$  parcimonioso que proporcione o menor AIC possível.

### 3.4.3 *Half Normal Plot (hnp)*

Dados de contagem e proporção podem apresentar superdispersão, ou seja, maior variabilidade do que esperado pelos modelos de Poisson (contagem) e binomial (proporção), respectivamente. Diferentes modelos lineares generalizados estendidos, que permitem a superdispersão, podem ser usados para analisar este tipo de dados, como os modelos que utilizam uma função de variância generalizada, os de efeitos aleatórios e os de distribuição compostos. Avaliar a qualidade e verificar os pressupostos destes modelos não é uma tarefa fácil, e o uso de gráficos meio-normais com envelope simulado é uma possível solução para esse problema. Esses gráficos são um indicador útil da qualidade do ajuste e podem ser usados com qualquer modelo linear generalizado e extensões. Recentemente, um novo pacote em R, *hnp*, foi desenvolvido para gerar gráficos meio-normais com envelope simulado para resíduos de diferentes tipos de modelos (MORAL, HINDE e DEMÉTRIO, 2017).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 O Sistema de Informações Gerenciais da PRF (SIGER/PRF)

Diante de uma ocorrência de acidente grave de trânsito numa rodovia ou estrada federal, a PRF é acionada, geralmente pelo telefone 191, e os policiais rodoviários federais fazem o atendimento às vítimas, bem como a coleta dos dados, gerando o BAT no Sistema BR-BRASIL. O BAT é o documento oficial de registro dos acidentes de trânsito nas rodovias federais, e o policial tem de preencher sequencialmente uma série de variáveis, algumas de caráter obrigatório, outras, facultativo. O SIGER/PRF, então, reúne todos os Boletins de Acidente de Trânsito e os disponibiliza por meio de planilhas que contêm as variáveis objeto do estudo. Esta pesquisa utilizou-se apenas de variáveis obrigatórias, tendo em vista as facultativas disporem de subjetividade prejudicial a uma análise estatística mais apurada.

A Figura 1 traz uma tela do sistema BR-BRASIL no SIGER/PRF, cujas variáveis são: Causa Acidente; Agente Responsável (CPF, Matrícula SIAPE, Nome do Agente e Sexo); Data (Ano, Ano/Mês, Ano/Trimestre, Data, Data Inversa, Dia da Semana, Mês, Mês Abreviado e Trimestre); Faixa Etária (Faixa Etária e Intervalo – Faixa Etária); Hora (Hora, Horário, Minuto e Segundo); Classificação Acidente; Condição Meteorológica; Colisão Objeto Fixo; Comunicação (Agente Comunicação, Código Comunicação, CPF Agente Comunicação, Data/Hora Abertura, Data/Hora Atendimento Fim, Data/Hora Atendimento Início, Data/Hora Averiguação, Data/Hora Fechamento, Matrícula Agente Comunicação e Status Comunicação); Condição Pista; Equipamento Segurança; Fase do Dia; Local Acidente (BR, Estado, Intervalo 1 em 1 km, Intervalo 10 em 10 km, Intervalo 2 em 2 km, Intervalo 20 em 20 km, Intervalo 5 em 5 km, Km, Latitude, Longitude, Município, Região, Trecho, UF); Ocorrência (Código Ocorrência, Dano Patrimônio Ambiental, Dano Patrimônio Terceiro, Dano Patrimônio União, Data e Hora Fim Ocorrência, Data e Hora Registro Ocorrência, Pessoa Habilitada, Status Ocorrência); Estado Físico; Pessoa (Categoria CNH, CPF, Data de Nascimento, ID Pessoa, Idade, Nacionalidade, Naturalidade, Pessoa, Sexo, UF CNH); Produto Perigoso (Código Produto Perigoso e Produto Perigoso); Tipo Envolvido; Restrição Visibilidade; Sentido Via; Tipo Acidente; Tipo Pista; Traçado Via; Unidade Operacional (Código Unidade Operacional, Delegacia, Departamento, Latitude UOP, Longitude UOP, Município UOP, Posto, Sigla Delegacia, Sigla Departamento, Sigla Posto, Sigla Superintendência, Superintendência, UF UOP); Uso Solo; Veículo (Ano Fabricação Veículo, Categoria, Cor Veículo, Espécie, ID

Veículo, Marca, Monta Veículo, Placa, Quantidade Reboque, Tipo Placa, Tipo Veículo); Agente Auxiliar (Agente Auxiliar, Área Lotação Agente Auxiliar, CPF Agente Auxiliar, Matrícula Agente Auxiliar, Sexo Agente Auxiliar); Quantidade Acidentes Graves; Quantidade Acidentes Graves Mês Anterior; Quantidade Comunicação; Quantidade Feridos Graves; Quantidade Feridos Leves; Quantidade Ilesos; Quantidade Mortos; Quantidade Ocorrência; Quantidade Ocorrência Mês Anterior; Quantidade Pessoas; Quantidade Veículos.

Figura 1 – Tela do SIGER/PRF

The screenshot shows the SIGER/PRF interface with the following elements:

- Navigation:** BR-BRASIL - Acidentes > Meus relatórios > Modo de estrutura: 2016 SIGER Acidentes
- OBJETOS DO RELATÓRIO:**
  - BR
  - Causa Acidente
  - Colisão Objeto Fixo
  - Código Comunicação
  - Data Inversa
  - Dia da Semana
  - Horário
  - KM
  - Município
  - Sentido Via
  - Tipo Acidente
  - Tipo Pista
  - Traçado Via
  - UF
  - Qtd. Acidentes Graves
  - Qtd. Feridos Graves
  - Qtd. Feridos Leves
  - Qtd. Ilesos
  - Qtd. Mortos
  - Qtd. Ocorrência
  - Qtd. Pessoas
  - Qtd. Veículos
- FILTRO DO RELATÓRIO:**
  - Status Ocorrência Na Lista (Encerrada)
  - Qtd. Acidentes Graves Igual 1
  - UF Na Lista (CE)
  - Ano Na Lista (2016)
- PAGINAR POR:** nenhum
- Table Headers:**

Código Comunicação	Causa Acidente	Data Inversa	Dia da Semana	Horário	Colisão Objeto Fixo	BR	KM
<Código Comunicação>	<Causa Acidente>	<Data Inversa>	<Dia da Semana>	<Horário>	<Colisão Objeto Fixo>	 	<KM>

Fonte: SIGER/PRF (2018).

Em 2017, algumas mudanças foram implementadas no SIGER/PRF por meio do novo BAT, entre elas: o número de protocolo, que mesclou o número da ocorrência com o da comunicação; o tipo de acidente, que agora permite o registro de mais de um tipo de acidente a fim de registrar a dinâmica do acidente; a causa do acidente, que também passou a permitir o registro de mais de uma causa do acidente, com a indicação da principal delas; o traçado da via (atualizado para Estrutura Viária), que passou a comportar não apenas “reta, curva e cruzamento”, mas também “retorno regulamentado, rotatória, túnel, viaduto, ponte etc.”. Isso demonstra aprimoramento do órgão na tentativa de registrar, cada vez mais detalhadamente, os dados de acidentes de trânsito nas rodovias federais.

Como exemplo, a variável “traçado da via” passou a se chamar “estrutura viária” e a comportar outros registros além dos três adotados de 2008 a 2016 (reta, curva e cruzamento). Para fins de uniformização e comparabilidade na pesquisa, foram feitas as seguintes substituições: “interseção de vias” por “cruzamento”; “desvio temporário” por “cruzamento”;

“rotatória” por “cruzamento”; “viaduto” por “reta”; “ponte” por “reta”; “túnel” por “reta” e “retorno regulamentado” por “cruzamento”. Essa mudança também permitiu o preenchimento simultâneo de mais de um traçado por acidente grave, gerando o registro “não informado” em 53 ocorrências, que foram forçadamente excluídas desta análise em razão da impossibilidade de definição do traçado.

Também em 2017, a causa do acidente passou a aceitar o registro de diversas causas, com a indicação da principal delas, tendo sido feitas, para fins de uniformização e comparabilidade, as seguintes substituições: “Carga excessiva e/ou mal acondicionada” por “Outras”, “Objeto estático sobre o leito carroçável” por “Falta de atenção”, “Sinalização da via insuficiente ou inadequada” por “Defeito na via”, “Deficiência ou não Acionamento do Sistema de Iluminação/Sinalização do Veículo” por “Defeito mecânico em veículo”, “Mal Súbito” por “Outras”, “Avarias e/ou desgaste excessivo no pneu” por “Defeito mecânico em veículo”, “Restrição de Visibilidade” por “Outras”, “Pista Escorregadia” por “Defeito na via”, “Condutor Dormindo” por “Dormindo”, “Desobediência às normas de trânsito pelo condutor” por “Desobediência à sinalização” e, por último, “Falta de Atenção do Pedestre” e “Falta de Atenção à Condução” por “Falta de atenção”.

O tipo de acidente também passou a aceitar o registro de diversos tipos, com a indicação da dinâmica do acidente, de modo que, para fins de uniformização e comparabilidade, foi adotado, como tipo de acidente em 2017, o primeiro deles, alinhando-se à regulamentação vigente de 2008 a 2016, bem como feitas as seguintes substituições: “engavetamento” por “colisão traseira”; “colisão com objeto em movimento” por “colisão com objeto móvel”; “colisão com objeto estático” por “colisão com objeto fixo”; “saída de leito carroçável” por “saída de pista”; “queda de ocupante de veículo” por “queda de motocicleta/bicicleta/veículo” e “atropelamento de pedestre” por “atropelamento de pessoa”.

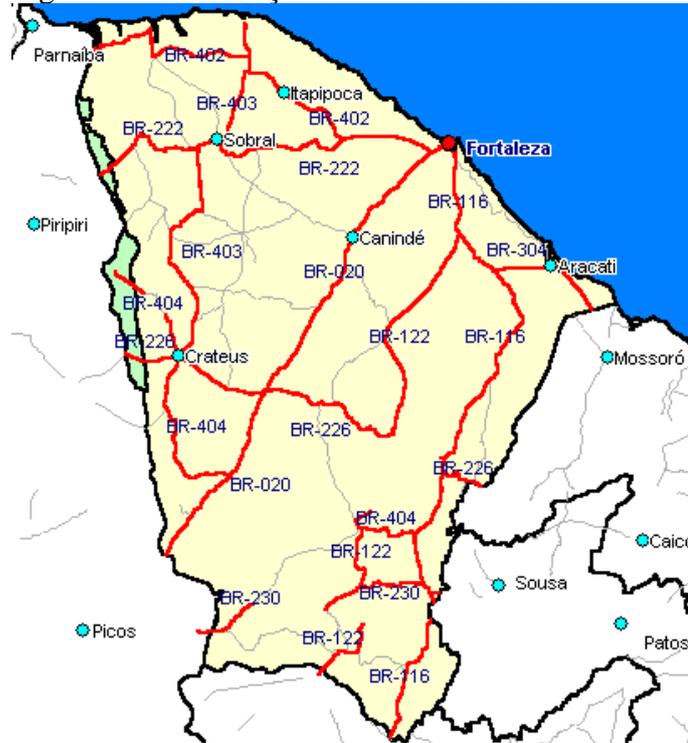
Atualmente, as variáveis do novo BAT são: Acidente (Causa do Acidente, Causa Principal, Cod Bat, Condições da Pista, Condições Meteorológicas, Dano à União, Dano ao Meio Ambiente, Estrutura Viária, Existia Iluminação, Fase do Dia, Fora da Rodovia, Gravidade Acidente, Local Urbanizado, Num Processo Retificação, Ordem Evento, Protocolo, Repercussão Social); Agente (Matrícula Agente, Nome Agente e Responsável BAT); Data Acidente (Ano, Ano-Mês, Data, Dia da Semana, Dia Semana Abreviado, Mês, Mês Abreviado, Mês Número e Trimestre); Datas (Data-Hora Abertura, Data-Hora Acidente, Data-Hora Acionamento Equipe, Data-Hora Atualização Dados, Data-Hora Encerramento, Data-Hora Final Atend, Data-Hora Início Atend, Data-Hora Substituição e Tempo Abertura); Envolvido

(Categoria CNH, Cod Envolvido, Encaminhado, Estado Físico, Idade, Motivo Encaminhamento, Sexo, Situação do Envolvido, Tipo de Envolvido, Usava Ret Criança e Uso Equip Segurança); Hora Acidente (Hora, Hora Inteira e Minuto); Local (Cod Uop, Delegacia, Estado, Estado do Acidente, Km, Latitude, Longitude, Município, Regional, Rodovia, Sentido Via, Trecho, UF do Acidente e Uop); Veículo (Ano Fabricação, Categoria do Veículo, Cod Veículo, Espécie do Veículo, Marca, Modelo, Oficial União, Placa, Renavam, Tipo de Monta, Tipo do Veículo, Tipo Emplacamento e UF Veículo); Quantidade Acidente; Quantidade Acidente Grave; Quantidade Acidente L. Grave; Quantidade Env Ilesos; Quantidade Env L. Grave; Quantidade Env L. Leve; Quantidade Env Morto; Quantidade Env Não Informado; Quantidade Envolvido; Quantidade Feridos Graves Rod; Quantidade Feridos Leves Rod; Quantidade Veículo.

#### **4.2 Definição das BRs**

A nomenclatura das rodovias federais no Ceará segue o previsto no Plano Nacional Viário (Lei 5.917/1973) e é definida pela sigla BR, seguida por três algarismos, sendo que o primeiro indica a categoria da rodovia: radial (0), longitudinal (1), transversal (2), diagonal (3) e de ligação (4). Os outros dois algarismos indicam a posição em relação à capital federal e aos limites do país (norte, sul, leste e oeste). Conforme a Portaria 407/2014 da Direção-Geral da PRF, que estabelece a circunscrição das Delegacias da PRF no âmbito da 16ª SRPRF/CE, o Ceará possui uma rodovia federal radial, duas longitudinais, três transversais, uma diagonal e quatro de ligação (Figura 2).

Figura 2 – Distribuição das BRs no Ceará



Fonte: DNIT (2018).

Conforme Portaria da Direção-Geral da PRF (PRF, 2014b), o estado do Ceará possui 11 rodovias federais: BR 020, BR 116, BR 122, BR 226, BR 230, BR 304, BR 402, BR 403, BR 404 e BR 437, sendo a BR 116 a maior delas com 557,8 quilômetros, e a BR 437, a menor com 48,5 quilômetros (Tabela 3).

Tabela 3 – Distribuição de quilômetros por rodovia (BR) no Ceará

Rodovia (BR)	Total de quilômetros
116	557,8
020	432,5
226	374,5
222	363,4
122	267,5
402	128,5
230	102,9
304	101,0
404	85,0
403	79,1
437	48,5
<b>Total Geral</b>	<b>2.540,7</b>

Fonte: PRF (2014b).

### 4.3 Análise e ajuste do Banco de Dados

Os dados de acidentes graves relativos ao período 2008-2016 foram baixados do sistema BR-BRASIL, no SIGER/PRF, no dia 15 de janeiro de 2018, e os de 2017, do sistema BAT, também do SIGER/PRF, em 26 de janeiro de 2018.

#### 4.3.1 Uniformização da variável Quilômetro

Analisando-se os registros da variável Quilômetro nos 20 primeiros quilômetros da BR 116 no Ceará no período 2008-2017, constatou-se alta frequência de números inteiros e baixa frequência dos números decimais (Tabela 4).

Tabela 4 – Frequência de acidentes graves nos 20 primeiros quilômetros da BR 116 no Ceará no período 2008-2017

Parte inteira do quilômetro	Primeira casa decimal do quilômetro										Total
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	4	4	2	3	3	9	3	3	5	2	38
1	13	2	6	7	4	11	3	4	4	4	58
2	18	12	5	6	4	19	3	9	17	14	107
3	58	7	11	15	6	20	2	3	5	5	132
4	28	9	9	4	1	11	2	2	10	10	86
5	23	3	4	-	1	17	6	5	7	8	74
6	17	3	3	4	1	8	-	4	15	12	67
7	21	4	5	9	4	8	2	-	3	2	58
8	13	3	3	1	4	8	1	7	2	7	49
9	17	9	9	5	4	9	2	4	1	2	62
10	14	3	4	6	1	7	1	2	4	2	44
11	20	1	6	2	6	6	6	14	9	4	74
12	20	4	4	6	2	9	1	3	5	-	54
13	28	2	6	-	4	7	2	1	5	1	56
14	28	-	-	2	-	9	1	1	2	4	47
15	18	-	2	-	-	9	-	2	2	5	38
16	12	-	4	-	-	11	1	4	6	6	44
17	17	1	3	-	2	3	1	-	3	1	31
18	11	1	1	-	1	1	1	-	2	1	19
19	5	6	-	-	-	4	2	-	2	5	24
20	15	2	1	1	1	1	1	1	3	-	26
Total	400	76	88	71	49	187	41	69	112	95	1188

Fonte: SIGER/PRF (2018).

Para fins de uniformização, criou-se a variável Quilômetro Ajustado por meio da seguinte regra de arredondamento da variável Quilômetro: números decimais com casa decimal igual a 5, 6, 7, 8 e 9 foram arredondados para o número inteiro superior, enquanto números decimais com casa decimal igual a 1, 2, 3 e 4 foram arredondados para o número inteiro inferior.

O quilômetro ajustado 0, por agrupar quilômetros que vão de 0 a 0,4, teve sua frequência absoluta dividida por 0,4 para fins de normalização da densidade de frequência em relação aos demais quilômetros ajustados, que têm frequência absoluta associada a um quilômetro. Esse procedimento foi feito em todas as rodovias federais.

#### ***4.3.2 Reformulação da variável Local Urbanizado***

A variável Uso Solo, atualizada em 2017 para Local Urbanizado, registra o tipo de solo presente no local do acidente (urbano ou rural). Como a circunscrição da PRF abrange rodovias e estradas federais, os acidentes de trânsito nelas ocorridos deveriam ser registrados, de acordo com as definições contidas no CTB, apenas como “rurais”. Entretanto, constam no SIGER/PRF vários acidentes graves “urbanos”. Mais que isso: há trechos idênticos classificados como “urbanos” por alguns policiais e como “rurais” por outros, impedindo qualquer análise conclusiva acerca da variável. Consultando o Manual de Procedimentos Operacionais MPO 015, que trata do Atendimento de Acidentes de Trânsito até 2016, bem como o Manual de Uso do Novo BAT, a partir de 2017, nota-se omissão em relação ao preenchimento dessa variável.

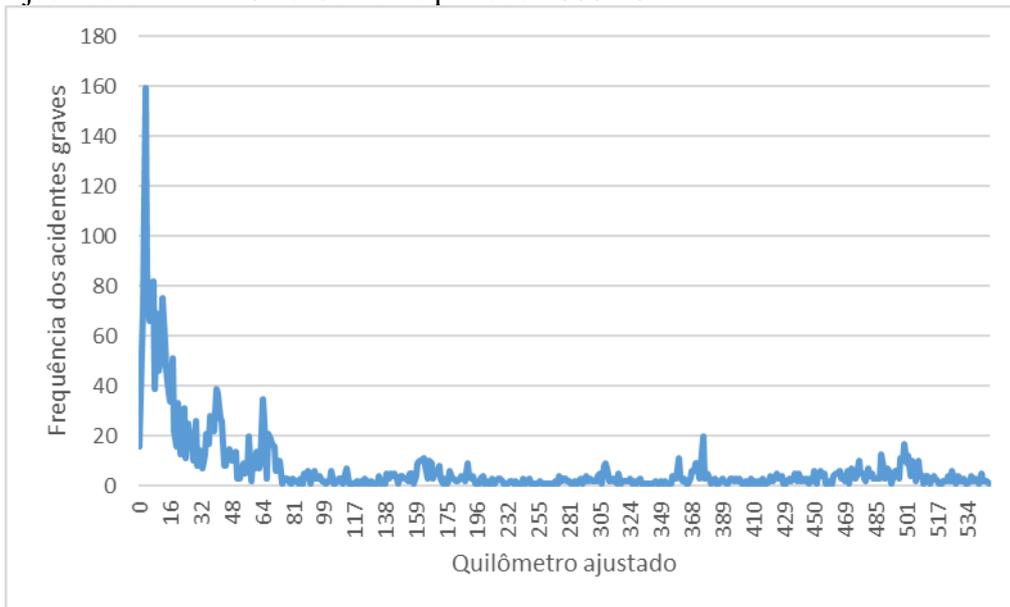
Diante dessas constatações, corrigir o banco de dados em relação à variável Local Urbanizado tornou-se uma necessidade. Num primeiro momento, pensou-se em classificar os acidentes graves por meio da análise de cada quilômetro das rodovias federais e da expertise do autor, porém esse caminho tornou-se cansativo e inviável em virtude do comprimento das rodovias federais no Ceará (2.540,7 quilômetros). Como alternativa, passou-se à análise da distribuição de frequência da frequência dos acidentes graves.

É fato notório, no dia-a-dia da PRF, que áreas mais urbanizadas têm um número maior de acidentes de trânsito, principalmente em razão do maior fluxo de veículos. Sendo assim, analisou-se, a partir do quilômetro ajustado, a distribuição de frequência da frequência dos acidentes graves em cada trecho de um quilômetro das rodovias federais.

#### 4.3.2.1 BR 116

A Figura 3 traz a distribuição de frequência dos 1.129 acidentes graves registrados ao longo dos 558 quilômetros ajustados da BR 116 no Ceará no período 2008-2017, enquanto a Figura 4, a distribuição de frequência da frequência desses acidentes.

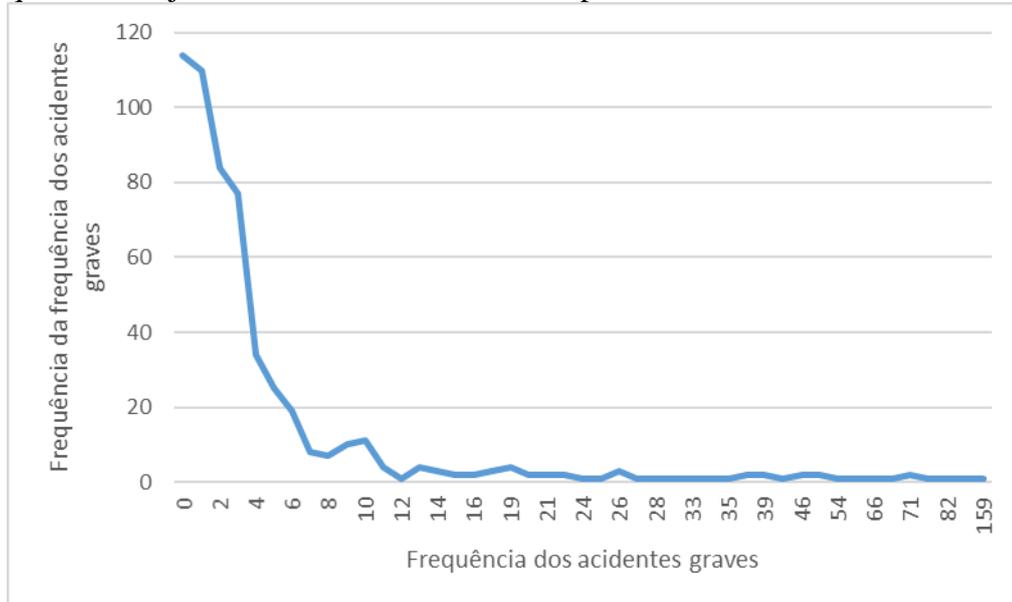
Figura 3 – Distribuição de frequência dos acidentes graves por quilômetro ajustado da BR 116 no Ceará no período 2008-2017



Fonte: SIGER/PRF (2018).

Para fins de esclarecimento do conceito “distribuição de frequência da frequência de acidentes graves”, o ponto (4;34) da Figura 4 mostra que, no Ceará, houve 34 trechos de um quilômetro da BR 116 em que, para cada um deles, ocorreram 4 acidentes graves no período 2008-2017. Do mesmo modo, o ponto (159;1) mostra que um único trecho de um quilômetro da BR 116 foi responsável por 159 acidentes graves no mesmo período. Por fim, o ponto (0;114) mostra que não ocorreu nenhum acidente grave em 114 trechos de um quilômetro da BR 116, também na mesma década.

Figura 4 – Distribuição de frequência da frequência dos acidentes graves por quilômetro ajustado da BR 116 no Ceará no período 2008-2017



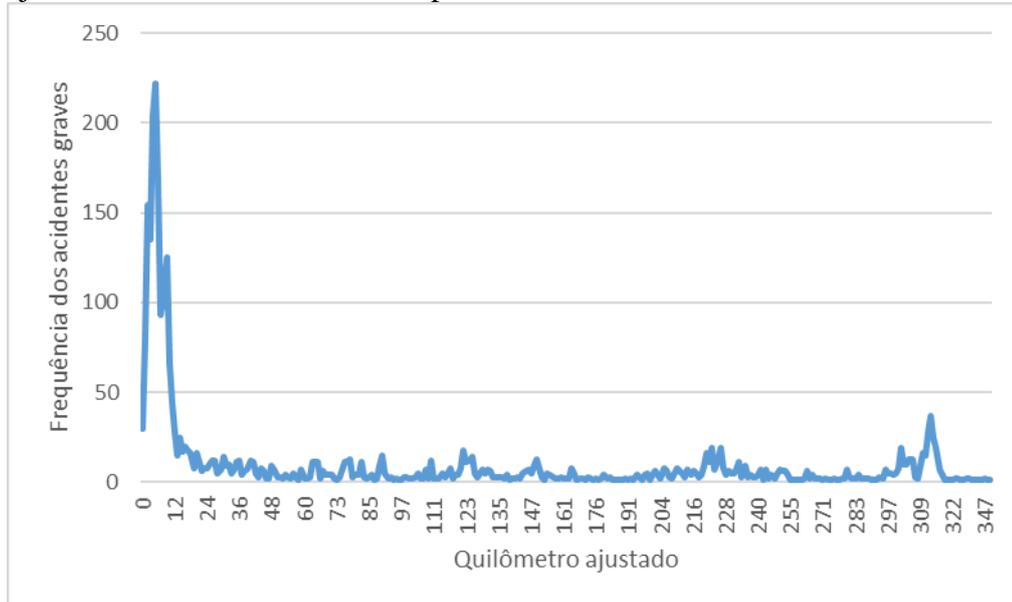
Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018).

A curva da distribuição de frequência da frequência de acidentes graves na BR 116 decresce quase que verticalmente (fase 1), passa por uma transição (fase 2) e se estabiliza na horizontal (fase 3), caracterizando assim três diferentes níveis de Local Urbanizado do acidente (Figura 4). Assim, a fase 1 é caracterizada por alta frequência de trechos com baixa frequência de acidentes graves, característica dos trechos rurais das rodovias federais. A fase 2 é caracterizada por frequência não tão alta nem tão baixa, própria de regiões urbanas, enquanto a fase 3 é caracterizada por baixa frequência de trechos com alta frequência de acidentes graves, associada aos grandes centros urbanos (GCU).

#### 4.3.2.2 BR 222

Assim como na BR 116, a Figura 5 traz a distribuição de frequência dos 3.060 acidentes graves registrados ao longo dos 363 quilômetros ajustados da BR 222 no Ceará no período 2008-2017, enquanto a Figura 6, a distribuição de frequência da frequência desses acidentes.

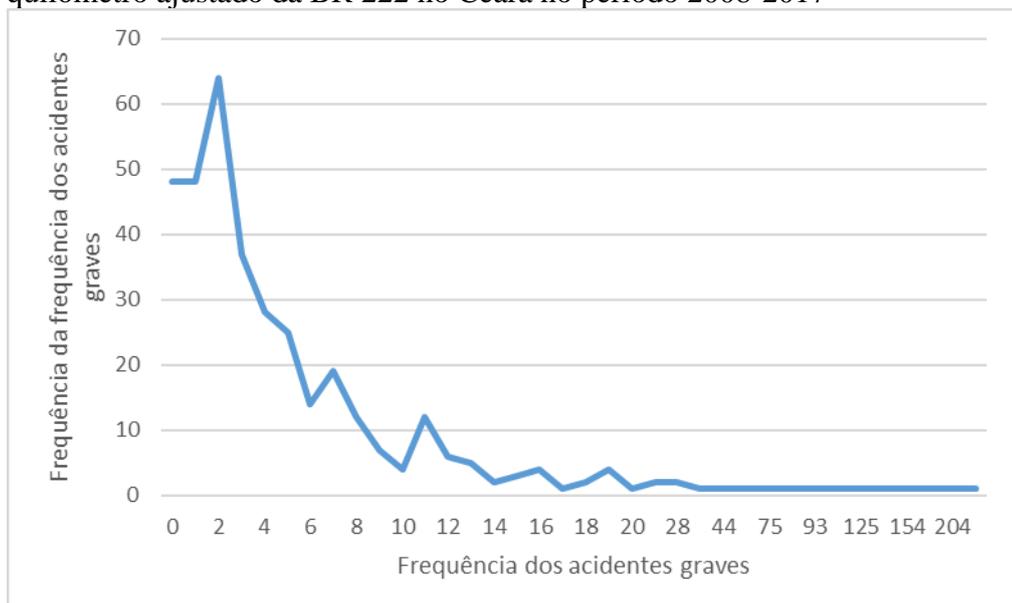
Figura 5 – Distribuição de frequência dos acidentes graves por quilômetro ajustado da BR 222 no Ceará no período 2008-2017



Fonte: SIGER/PRF (2018).

O ponto (2;64) da Figura 6, por exemplo, mostra que foram registrados, em 64 trechos de um quilômetro da BR 222, 2 acidentes graves para cada trecho durante toda a década 2008-2017. O ponto (222;1) mostra que um trecho, sozinho, da BR 222 foi responsável por 222 acidentes graves na referida década, e o ponto (0;48) mostra que em 48 trechos de um quilômetro da BR 222 não ocorreu nenhum acidente grave no mesmo período.

Figura 6 – Distribuição de frequência da frequência dos acidentes graves por quilômetro ajustado da BR 222 no Ceará no período 2008-2017



Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018).

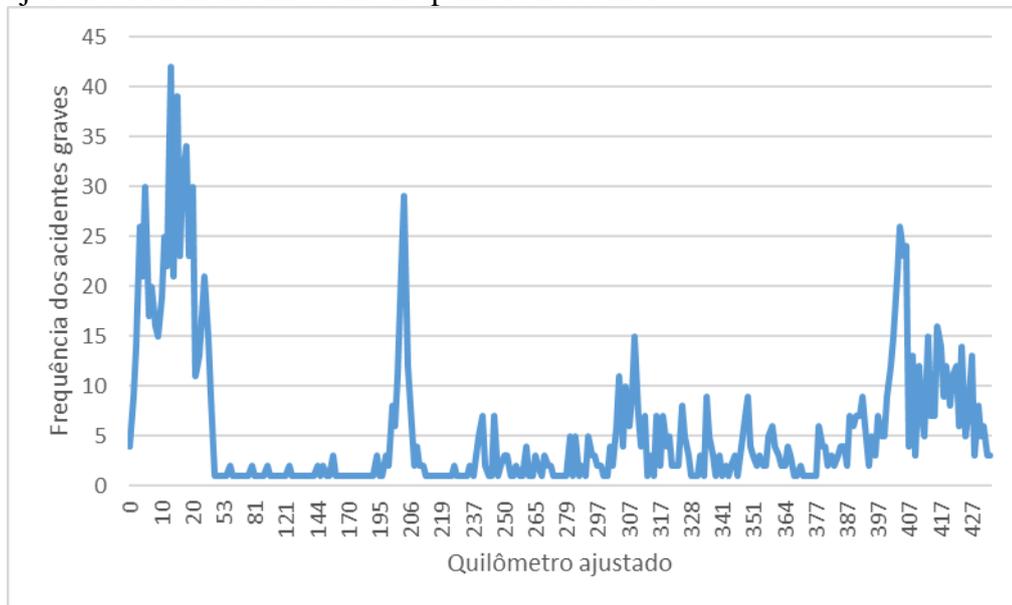
À semelhança da BR 116, a curva da distribuição de frequência da frequência de acidentes graves na BR 222 decresce quase que verticalmente (fase 1), passa por uma transição (fase 2) e se estabiliza na horizontal (fase 3), caracterizando também os três diferentes níveis de Local Urbanizado do acidente (Figura 6).

#### 4.3.2.3 BR 020

A BR 020, por ser radial, tem uma característica distinta das duas anteriores (116 e 222): seu início fica no interior do estado, enquanto seu final, na região metropolitana de Fortaleza, não alcançando áreas fortemente urbanizadas.

A Figura 7 traz a distribuição de frequência dos 1.567 acidentes graves registrados ao longo dos 433 quilômetros ajustados na BR 020 no Ceará da década 2008-2017, enquanto a Figura 8, a distribuição de frequência da frequência desses acidentes.

Figura 7 – Distribuição de frequência dos acidentes graves por quilômetro ajustado da BR 020 no Ceará no período 2008-2017



Fonte: SIGER/PRF (2018).

O ponto (5;14) da Figura 8 mostra que, no Ceará, em 14 trechos de um quilômetro da BR 020, foram registrados 5 acidentes graves para cada um deles no período 2008-2017. O ponto (42;1) mostra que um único trecho de um quilômetro da BR 020 registrou 42 acidentes

graves no mesmo período, e o ponto (0;156) mostra que não ocorreu nenhum acidente grave em 156 trechos de um quilômetro da BR 020 no período sob análise.

Figura 8 – Distribuição de frequência da frequência dos acidentes graves por quilômetro ajustado da BR 020 no Ceará no período 2008-2017



Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018).

A curva da distribuição de frequência da frequência de acidentes graves na BR 020 decresce quase que verticalmente (fase 1), passa por uma transição (fase 2) e se estabiliza na horizontal (fase 3), caracterizando mais uma vez os três diferentes níveis de Local Urbanizado do acidente (Figura 8).

#### 4.3.2.4 Demais BR do Ceará

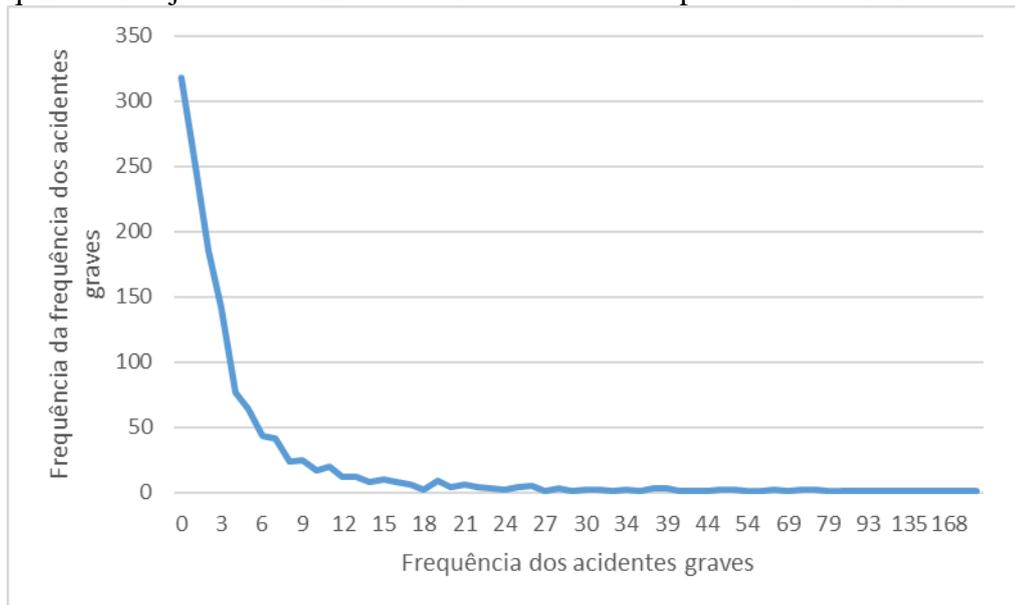
As demais rodovias federais do Ceará caracterizam-se por estarem inseridas no interior do Estado. Juntas, registraram 233 dos 7.989 acidentes graves no período 2008-2017 (2,91%). O trecho de maior incidência, localizado no quilômetro 52 da BR 304, registrou 12 acidentes graves no período em estudo.

#### 4.3.2.5 Mistura de BRs

Um modelo, sempre que possível, deve ser universal. Assim, procedeu-se à mistura das BR 116, BR 222 e BR 020 no Ceará na tentativa de se obter um modelo universal. O

conceito de mistura se diferencia do de soma, já que neste se considera a sobreposição de acidentes graves nos quilômetros ajustados comuns às diferentes BR, enquanto naquele ocorre a justaposição dos acidentes graves, como se ao final de cada BR iniciasse uma outra. Como resultado da mistura das BR 116, BR 222 e BR 020 no Ceará no período 2008-2017, não houve acidentes graves em 318 trechos de um quilômetro e, em outros 256 trechos, houve apenas um acidente grave durante toda a década (Figura 9). Em contrapartida, há vários trechos de um quilômetro com altas frequências de acidentes graves, tendo ocorrido a maior delas no quilômetro ajustado 5 da BR 222, em que houve 222 acidentes graves no período 2008-2017. O Apêndice A traz a tabela completa da distribuição de frequência da frequência de acidentes graves por trechos de um quilômetro nas BR 116, BR 222 e BR 020 do Ceará no período 2008-2017.

Figura 9 – Distribuição de frequência da frequência dos acidentes graves por quilômetro ajustado da mistura de BRs no Ceará no período 2008-2017



Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018).

Assim como ocorreu individualmente com as BR 116, BR 222 e BR 020, na mistura delas, o gráfico da distribuição de frequência da frequência de acidentes graves manteve o padrão: a curva decresce abruptamente (fase 1), passa por uma transição (fase 2) e se estabiliza na horizontal (fase 3). A queda no início refere-se aos trechos rurais (fase 1), em que uma grande quantidade de trechos de um quilômetro (eixo y) não teve ou teve pouco acidente grave (eixo x). A estabilidade ao final refere-se aos trechos dos grandes centros urbanos (fase 3), onde uma

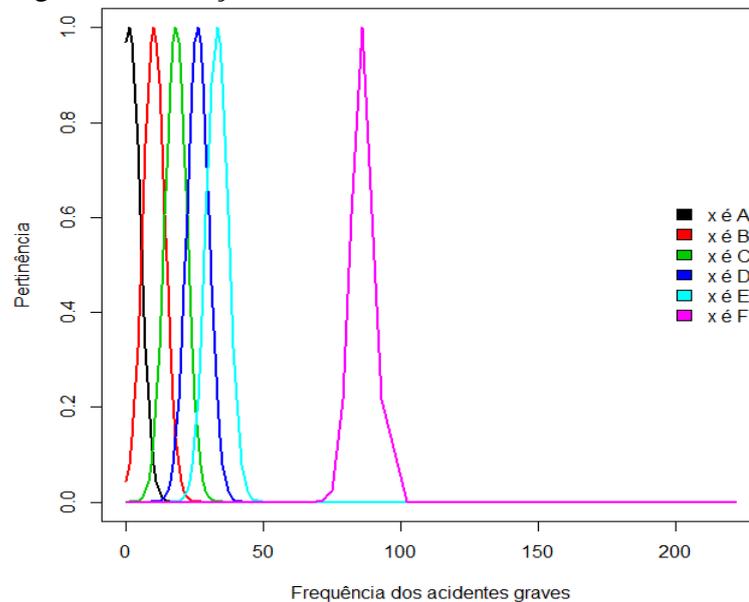
pequena quantidade de trechos de um quilômetro acumula elevados índices de acidentes graves, ficando a parte central reservada aos trechos urbanos, por exclusão.

Vários modelos poderiam ser utilizados na identificação dos pontos de transição da fase rural para a fase urbana e desta para a fase GCU. O adotado nesta pesquisa faz uso de regressão não-linear baseada na Inteligência Artificial, mais especificamente na Identificação Fuzzy de Sistemas (TAKAGI e SUGENO, 1985). Tal modelo, conhecido por TSK, propõe a divisão da variável independente em “termos” e atribui a cada um deles uma “função de pertinência”. No caso da Figura 9, propôs-se uma Identificação Fuzzy com divisão do eixo  $x$  em 6 termos e atribuição de funções de pertinência gaussianas com dispersão  $s = 4$  (Tabela 5 e Figura 10).

Tabela 5 – Configuração Fuzzy do Local Urbanizado

Termos de $x$	Funções de Pertinência de $x$	Local Urbanizado
A	$Gauss(1, s)$	Rural
B	$Gauss(10, s)$	Rural
C	$Gauss(18, s)$	Urbano
D	$Gauss(26, s)$	Urbano
E	$Gauss(33, s)$	GCU
F	$Gauss(86, s)$	GCU

Figura 10 – Funções de Pertinência do Local Urbanizado



Adotando-se a base de regras da Tabela 6, calculou-se a pertinência normalizada para cada valor de  $x$  e obteve-se, por meio do comando “`ginv(A)`” do *software* R, os parâmetros do modelo TSK (Tabela 7). O Apêndice B traz o *script* do modelo TSK desenvolvido na pesquisa.

Tabela 6 – Base de regras do modelo TSK

Regra	Se	Então
A	( $x$ é A)	( $y$ é $\beta_{0,A} + \beta_{1,A}x$ )
B	( $x$ é B)	( $y$ é $\beta_{0,B} + \beta_{1,B}x$ )
C	( $x$ é C)	( $y$ é $\beta_{0,C} + \beta_{1,C}x$ )
D	( $x$ é D)	( $y$ é $\beta_{0,D} + \beta_{1,D}x$ )
E	( $x$ é E)	( $y$ é $\beta_{0,E} + \beta_{1,E}x$ )
F	( $x$ é F)	( $y$ é $\beta_{0,F} + \beta_{1,F}x$ )

Tabela 7 – Parâmetros do modelo TSK

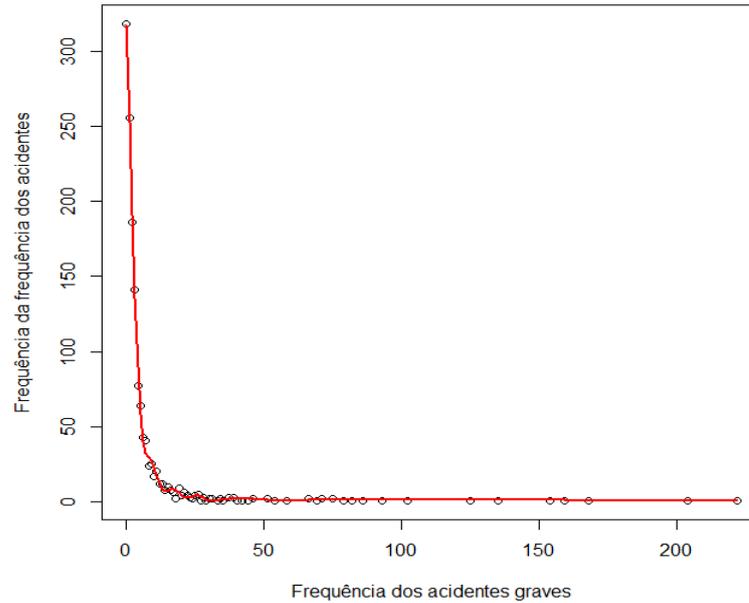
Regra	$\beta_0$ (coeficiente linear)	$\beta_1$ (coeficiente angular)
A	320,56	-65,9403
B	249,97	-20,8245
C	193,86	-9,56547
D	99,32	-3,35460
E	7,95	-0,12983
F	1,63	-0,00376

Percebe-se, pelos coeficientes acima, que as 6 retas têm coeficiente angular negativo, como era de se esperar, já que a curva da Figura 9 é negativamente inclinada em todos os seus pontos. Além disso, as retas mais inclinadas são as que pertencem às regras A e B, enquanto as menos inclinadas, às regras E e F, como era de se esperar. Fazendo-se a interseção das retas “B e C” e “D e E”, encontram-se as coordenadas dos pontos de separação dos trechos (Tabela 8) e obtém-se o gráfico de ajuste da Figura 9 segundo o modelo TSK (Figura 11).

Tabela 8 – Pontos de interseção do modelo TSK

Interseção	$x$
B $\cap$ C	4,98
D $\cap$ E	28,33

Figura 11 – Modelo TSK de ajuste do Local Urbanizado



O critério de Local Urbanizado dos acidentes graves nas rodovias federais do Ceará no período 2008-2017 considerou que as retas A e B (as duas mais inclinadas) representam o solo rural; as retas C e D, o solo urbano; e as retas E e F (menos inclinadas), o solo dos grandes centros urbanos, tendo o valor de  $x$  sido aproximado para o inteiro mais próximo (Tabela 9). As maiores frequências de acidentes graves ocorreram em solo urbano e nos grandes centros urbanos (Tabela 10).

Tabela 9 – Critério de Local Urbanizado

Regras	$x$	Local Urbanizado
A e B	$x \leq 5$	Rural
C e D	$x \leq 28$	Urbano
E e F	$x > 28$	GCU

Tabela 10 – Distribuição dos acidentes graves por local urbanizado e por rodovias federais (BR) no Ceará no período 2008-2017

BR	Local Urbanizado			Total
	Rural	Urbano	GCU	
020	385	947	235	1567
116	770	1073	1286	3129
222	524	1077	1459	3060
226	14	-	-	14
230	30	-	-	30
304	157	-	-	157
402	32	-	-	31
<b>Total</b>	<b>1912</b>	<b>3097</b>	<b>2980</b>	<b>7989</b>

Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018).

Há de se observar que a variável Local Urbanizado é dinâmica no tempo, já que a urbanização ao redor das rodovias é um fenômeno em constante crescimento e alinhado à economia do país e da região. Sendo assim, trechos hoje classificados como rurais poderão no futuro ser classificados como urbanos.

#### 4.3.3 Uniformização da variável Hora

Assim como ocorreu no registro do quilômetro dos acidentes graves, também houve no registro do momento do acidente uma predominância por números arredondados, mais especificamente os múltiplos de 5 e, mais ainda, os múltiplos de meia hora (Tabela 11). Com base nessa constatação, criou-se a variável Hora Ajustada, agrupando-se os minutos de 0 a 15 na hora exata mais próxima anterior, os de 16 a 45 na hora e meia mais próxima e os de 46 a 59 na hora exata mais próxima posterior<sup>1</sup>. Como exemplo, os horários 16:13, 18:35 e 21:54 foram ajustados para 16:00, 18:30 e 22:00.

Tabela 11 – Distribuição dos acidentes graves por minuto no Ceará no período 2008-2017

<b>Mínuto</b>	<b>Acidentes graves</b>	<b>Mínuto</b>	<b>Acidentes graves</b>
			(continua)
0	1776	30	1720
1	7	31	1
2	5	32	4
3	4	33	5
4	3	34	4
5	139	35	160
6	2	36	6
7	6	37	4
8	6	38	8
9	2	39	1
10	596	40	813
11	0	41	2
12	1	42	5
13	6	43	4
14	2	44	2
15	500	45	426
16	4	46	3

<sup>1</sup> Esse ajuste da hora, quando ocorre entre 23:46 e 23:59, provoca um ajuste na variável data e a criação da variável Data Ajustada, que passa a considerar, exclusivamente nestes casos, o dia seguinte como o dia da ocorrência do acidente grave.

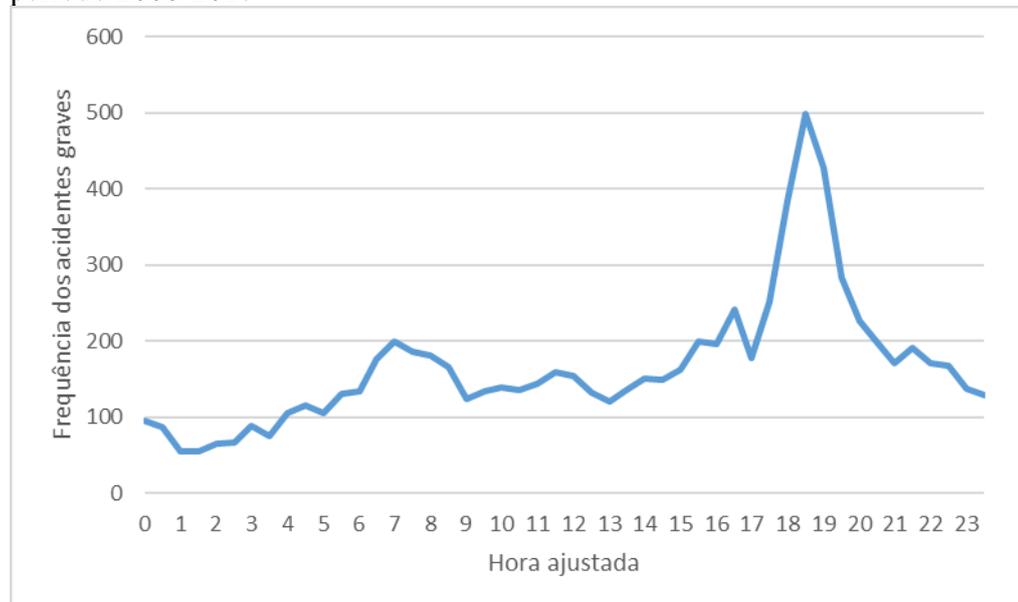
Tabela 11 – Distribuição dos acidentes graves por minuto no Ceará no período 2008-2017

Minuto	Acidentes graves	Minuto	Acidentes graves (conclusão)
17	2	47	4
18	9	48	3
19	4	49	3
20	720	50	725
21	1	51	0
22	5	52	4
23	3	53	4
24	0	54	2
25	137	55	110
26	4	56	1
27	3	57	2
28	7	58	3
29	3	59	3
Total	3.957	Total	4.032

Fonte: SIGER/PRF (2018).

A distribuição de frequência dos acidentes graves por hora ajustada mostrou que a maior frequência (pico mais alto) ocorreu às 18:30, enquanto a menor, às 01:30 (Figura 12).

Figura 12 – Distribuição dos acidentes graves por hora ajustada no Ceará no período 2008-2017



Fonte: SIGER/PRF (2018).

#### 4.3.4 Reformulação da variável Fase do Dia

Em virtude de registros inconsistentes (a exemplo de “plena noite” às 14:10 e “pleno dia” às 03:40 da madrugada), reformulou-se a variável Fase do Dia utilizando-se um critério hierárquico híbrido que envolveu a luz natural do sol e a frequência de acidentes graves ao longo do dia (Tabela 12).

Tabela 12 – Critério hierárquico híbrido da variável fase do dia

<b>Classificação</b>	<b>Hora ajustada</b>	<b>Total de horas</b>
Madrugada ( $x_1$ )	$0,5 < x_1 \leq 5,0$	4,5
Amanhecer ( $x_2$ )	$5,0 < x_2 \leq 8,5$	3,5
Pleno dia ( $x_3$ )	$8,5 < x_3 \leq 15,0$	6,5
Entardecer ( $x_4$ )	$15,0 < x_4 \leq 17,5$	2,5
Anoitecer ( $x_5$ )	$17,5 < x_5 \leq 20,0$	2,5
Plena noite ( $x_6$ )	$20,0 < x_6 \leq 24,5^*$	4,5
<b>Total</b>		<b>24,0</b>

Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018).

Nota: \*O número 24,5 indica que a plena noite só termina à meia noite e meia do dia seguinte.

A maior frequência de acidentes graves ocorreu em pleno dia, enquanto a menor, de madrugada (Tabela 13).

Tabela 13 – Distribuição dos acidentes graves e das horas por fase do dia no Ceará no período 2008-2017

<b>Fase do Dia</b>	<b>Acidentes graves</b>	<b>Total de horas</b>
Madrugada	733	16.438,5
Amanhecer	1173	12.785,5
Pleno dia	1843	23.744,5
Entardecer	1067	9.132,5
Anoitecer	1823	9.132,5
Plena noite	1350	16.438,5
<b>Total Geral</b>	<b>7989</b>	<b>87.672</b>

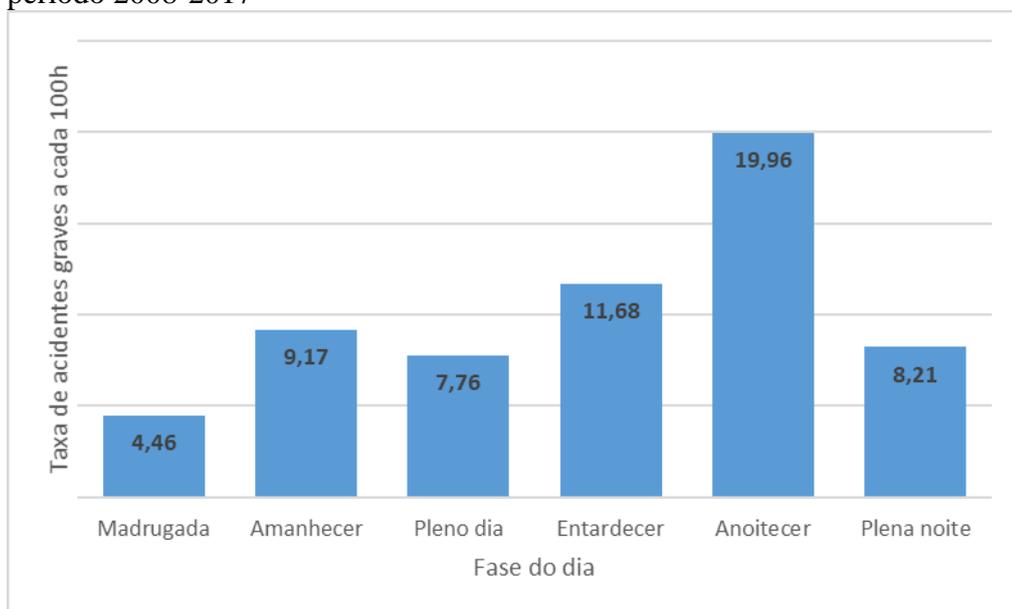
Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018).

A fase do dia mais crítica, em termos relativos de acidentes graves de trânsito, foi o anoitecer, com taxa<sup>2</sup> de 19,96 acidentes graves por 100 horas, seguido do entardecer, com

<sup>2</sup> O cálculo da taxa levou em consideração os anos bissextos 2008, 2012 e 2016 no período 2008-2017, totalizando  $7*365 + 3*366 = 3.653$  dias e  $24*3.653 = 87.672$  horas. Como exemplo, a taxa de acidentes graves no Ceará no período 2008-2017 por 100 horas da fase do dia madrugada foi calculada dividindo-se o número de acidentes graves na madrugada (733) pelo número de horas da madrugada no período 2008-2017 ( $87672*4,5/24$ ), multiplicando-se, ao final, o resultado por 100.

taxa de 11,68 acidentes graves por 100 horas (Figura 13). Em sentido oposto, a fase menos crítica foi a madrugada, com taxa de 4,46 acidentes graves por 100 horas, caracterizada pela redução no fluxo de veículos. Os altos índices do anoitecer e do entardecer podem estar relacionados ao processo de cessação da luz natural, já que, no crepúsculo, é comum motoristas relatarem a simultaneidade de “insuficiência da luz natural” e “ineficiência dos faróis dos veículos”.

Figura 13 – Taxa de acidentes graves, a cada 100h, por fase do dia no Ceará no período 2008-2017



Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018).

#### 4.3.5 Criação das variáveis Tipo de Feriado e Fluxo nos Feriados

Os feriados nacionais e regionais representam um aumento efetivo no volume de veículos nas rodovias e estradas federais e, conseqüentemente, potencializam, pelo menos em tese, a ocorrência de acidentes de trânsito.

Há três feriados nacionais que ocorrem em “dia da semana fixo”: Carnaval (terça-feira), da Semana Santa (sexta-feira) e de Corpus Christi (quinta-feira). Todos os demais feriados ocorrem em “datas fixas”.

Criou-se também a variável Fluxo nos Feriados, que indica a direção dos veículos em dia de feriado. O fluxo “saída” representa a saída de veículos da capital em direção ao interior e às praias; o fluxo “retorno”, o retorno de veículos do interior e das praias em direção à capital; o fluxo “meio”, a movimentação de veículos posterior à “saída” e anterior ao

“retorno”; por fim, o fluxo “isolado”, a movimentação de veículos em um feriado isolado, envolvido por dia útil anterior ou posterior a ele.

Para mensuração dos acidentes graves ocorridos em feriados ou em dias a eles associados, propôs-se a seguinte caracterização para os feriados com “data fixa”:

- a) Se o feriado ocorreu num domingo (sem fluxo), não foi considerado feriado nenhum outro dia, caracterizando o “feriado isolado”;
- b) Se o feriado ocorreu numa segunda-feira (fluxo de retorno), também foram considerados feriados o sábado (fluxo de saída) e o domingo (fluxo de meio) anteriores, caracterizando o “feriadão”;
- c) Se o feriado ocorreu numa terça, quarta ou quinta-feira (sem fluxo), não foi considerado feriado nenhum outro dia, caracterizando o “feriado isolado”;
- d) Se o feriado ocorreu numa sexta-feira (fluxo de saída), também foram considerados feriados o sábado (fluxo de meio) e o domingo (fluxo de retorno) seguintes, caracterizando o “feriadão”;
- e) Se o feriado ocorreu num sábado (fluxo de saída), também foi considerado feriado o domingo (fluxo de retorno) seguinte, caracterizando o “feriadão”.

Já para os feriados com “dia da semana fixo”, propôs-se esta caracterização:

- a) Feriado de Carnaval: a sexta-feira (fluxo de saída), o sábado (fluxo de saída), o Domingo (fluxo de meio) e a segunda-feira (fluxo de meio) anteriores, bem como a terça-feira (fluxo de retorno) e a quarta-feira de cinzas (fluxo de retorno), caracterizando o “feriadão fixo”;
- b) Feriado da Semana Santa: a quinta-feira (fluxo de saída), a sexta-feira (fluxo de saída), o sábado (fluxo de meio) e o Domingo (fluxo de retorno), caracterizando o “feriadão fixo”;
- c) Feriado de Corpus Christi: a quinta-feira (fluxo de saída), a sexta-feira (fluxo de saída), o sábado (fluxo de meio) e o Domingo (fluxo de retorno), caracterizando o “feriadão fixo”.

A caracterização distinta dos feriados com “dia da semana fixo” deve-se à cultura da viagem, criada (como toda tradição) pela repetição ano após ano. Nesse tipo de feriado, as famílias e os trabalhadores programam suas viagens com bastante antecedência, tendo a certeza de que terão o “feriadão” para desfrutar. Os demais feriados, com suas “datas fixas”, ocorrem em dias da semana diferentes a cada ano, dificultando a criação da cultura da viagem.

A década em análise teve 3.653 dias, incluindo os três dias extras dos anos bissextos 2008, 2012 e 2016, sendo 288 deles considerados feriados. A maior frequência de acidentes graves ocorreu em dia comum, e a menor, em feriados isolados (Tabela 14). O Apêndice C traz a relação dos feriados considerados na pesquisa<sup>3</sup>.

Tabela 14 – Distribuição dos acidentes graves e dos dias por tipo de feriado no Ceará no período 2008-2017

<b>Tipo de feriado</b>	<b>Acidentes graves</b>	<b>Dias</b>
Dia comum	7219	3365
Feriadão fixo	366	141
Feriadão	260	93
Feriado isolado	144	54
<b>Total Geral</b>	<b>7989</b>	<b>3653</b>

Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018).

A simples presença de feriados potencializa, de fato, a ocorrência de acidentes graves nas rodovias e estradas federais, haja vista uma frequência relativa maior quando comparada aos dias comuns (Figura 14). Os feriadões, por exemplo, tiveram no período em análise uma taxa<sup>4</sup> de acidentes graves por dia 30,23% maior que a encontrada em dias comuns.

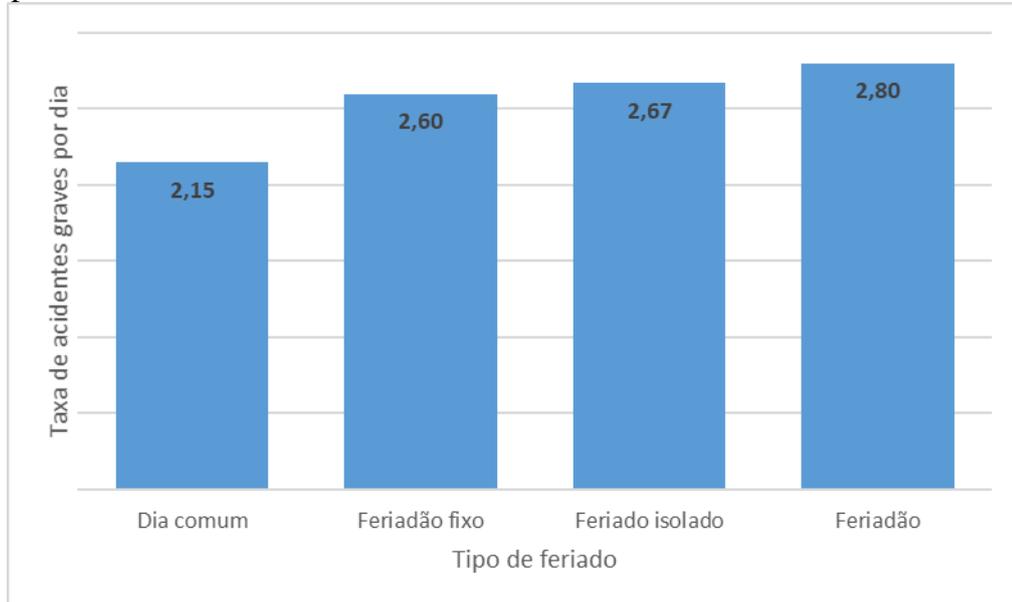
Os feriados isolados tiveram taxa maior que a dos feriadões fixos (Figura 14), e uma possível explicação para isso reside na vontade que alguns condutores têm de “aproveitar mais” o “curto feriado”, refletindo no cometimento de mais infrações ao volante e mais ocorrências de acidentes graves de trânsito.

Já os feriadões fixos apresentaram a menor taxa entre os feriados (Figura 14), apesar do notório aumento no fluxo de veículos, e isso se deve, pelo menos em parte, às ações planejadas da PRF, que ao se antecipar aos feriadões fixos por meio de operações nacionalmente divulgadas, utiliza sua força de trabalho de modo direcionado e com maior eficiência.

<sup>3</sup> Nos anos de 2011 e 2014, pelo fato de o feriado de Tiradentes ser adjacente ao da Semana Santa, incorporou-se aquele a este na pesquisa por sua maior influência sobre os acidentes graves nas rodovias federais.

<sup>4</sup> Como exemplo, a taxa de acidentes graves no Ceará no período 2008-2017 por dia de feriadão fixo foi calculada dividindo-se o número de acidentes graves em feriadões fixos (366) pelo número de dias de feriadões fixos no período 2008-2017 (141).

Figura 14 – Taxas de acidentes graves, por dia, por tipo de feriado no Ceará no período 2008-2017



Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018).

Acrescentando-se o fluxo nos feriados à análise dos feriados, viu-se que a maior frequência de acidentes graves ocorreu na saída de feriados fixos, enquanto a menor, no meio de feriados (Tabela 15).

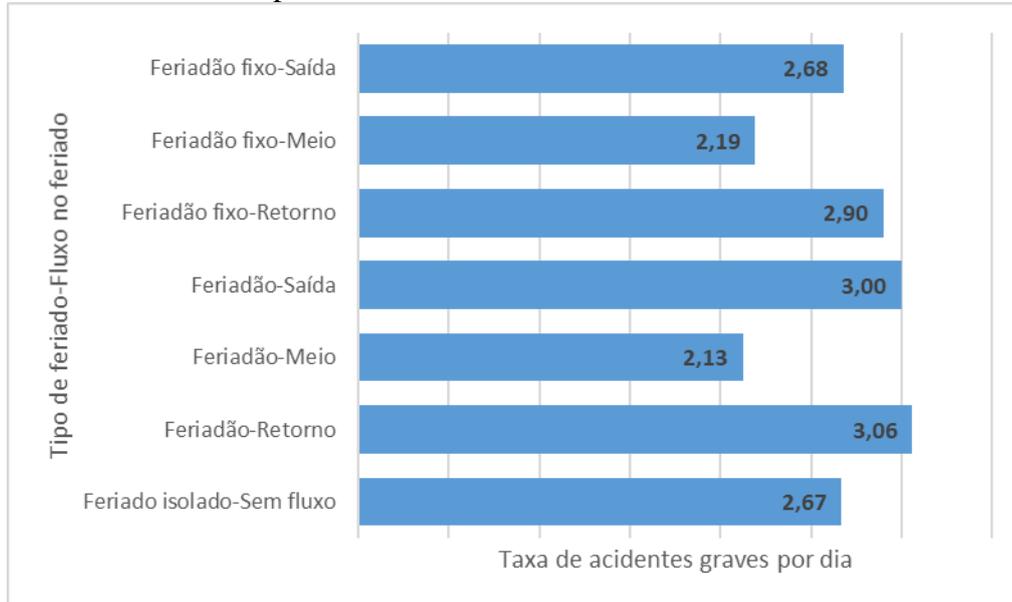
Tabela 15 – Distribuição dos acidentes graves e dos dias por tipo de feriado-fluxo no feriado no Ceará no período 2008-2017

<b>Tipo de Feriado-Fluxo nos Feriados</b>	<b>Acidentes graves</b>	<b>Dias</b>
Feriadão fixo-Saída	158	59
Feriadão fixo-Meio	92	42
Feriadão fixo-Retorno	116	40
Feriadão-Saída	105	35
Feriadão-Meio	51	24
Feriadão-Retorno	104	34
Feriado isolado-Sem fluxo	144	54
<b>Total Geral</b>	<b>770</b>	<b>288</b>

Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018).

Nos feriados fixos e feriados, as maiores taxas incidiram nos fluxos de saída e de retorno (Figura 15).

Figura 15 – Taxas de acidentes graves, por dia, por tipo de feriado-fluxo no feriado no Ceará no período 2008-2017



Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018).

Detalhando-se ainda mais os feriados, agora por nome, observou-se que o feriado com maior frequência de acidentes graves foi o da saída do feriadão fixo da Semana Santa, e o com menor foi o do retorno de feriadão da Confraternização Universal (Tabela 16).

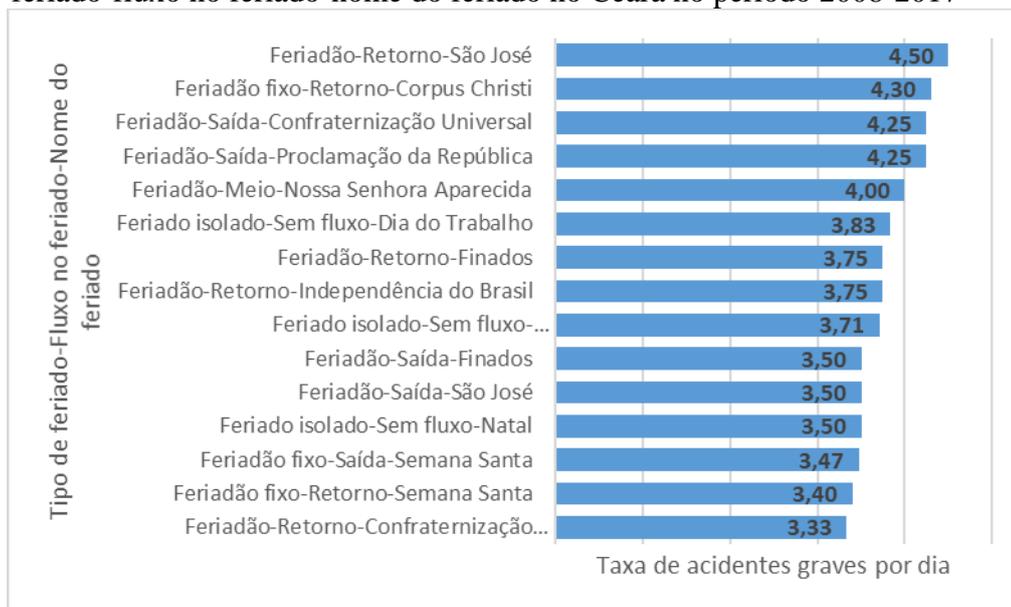
Tabela 16 – Distribuição dos acidentes graves e dos dias por tipo de feriado-fluxo no feriado-nome do feriado no Ceará no período 2008-2017

<b>Tipo de feriado-Fluxo nos feriados-Nome do feriado</b>	<b>Acidentes graves</b>	<b>Dias</b>
Feriadão-Retorno-São José	18	4
Feriadão fixo-Retorno-Corpus Christi	43	10
Feriadão-Saída-Confraternização Universal	17	4
Feriadão-Saída-Proclamação da República	17	4
Feriadão-Meio-Nossa Senhora Aparecida	12	3
Feriado isolado-Sem fluxo-Dia do Trabalho	23	6
Feriadão-Retorno-Finados	15	4
Feriadão-Retorno-Independência do Brasil	15	4
Feriado isolado-Sem fluxo-Confraternização Universal	26	7
Feriadão-Saída-Finados	14	4
Feriadão-Saída-São José	14	4
Feriado isolado-Sem fluxo-Natal	21	6
Feriadão fixo-Saída-Semana Santa	66	19
Feriadão fixo-Retorno-Semana Santa	34	10
Feriadão-Retorno-Confraternização Universal	10	3
<b>Total Geral</b>	<b>345</b>	<b>92</b>

Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018).

Entre as 15 maiores taxas de acidentes graves/dia (Figura 16), houve uma predominância dos feriados, e isso pode estar relacionado ao fato de não haver constância do dia da semana ao longo dos anos. Por exemplo, o dia de São José é um feriado regional que, em um determinado ano, pode ser feriado isolado, em outro, feriadão, e essa incógnita não contribui para a criação da cultura da viagem. Como consequência, há uma menor intervenção estatal nesses feriados (quando comparada aos feriados fixos) e uma maior taxa de acidentes graves/dia. Diferente é o que ocorre com os feriados fixos (Carnaval, Semana Santa e Corpus Christi), os quais, por ocorrerem sempre nos mesmos dias da semana, permitem maior planejamento tanto das famílias (que querem viajar) quanto da PRF, que monta suas operações a fim de coibir infrações e reduzir acidentes de trânsito.

Figura 16 – As 15 maiores taxas de acidentes graves, por dia, por tipo de feriado-fluxo no feriado-nome do feriado no Ceará no período 2008-2017



Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018).

Essas operações, por sinal, envolvem todo o efetivo e decorrem de um planejamento intenso que se origina na sede do órgão, em Brasília/DF, e termina com a publicação de ordens de serviço nas superintendências regionais, como a da SRPRF-CE.

As maiores operações da PRF nos feriados fixos ocorrem, em 1º lugar, no Carnaval; em 2º lugar, na Semana Santa; e em 3º lugar, no Corpus Christi. Não é à toa que o Carnaval não figurou entre as 15 combinações mais violentas, a Semana Santa ocupou a 13ª e a 14ª posições e o Corpus Christi, a 2ª posição. Isso pode estar relacionado ao tamanho da intervenção estatal, exercida pela PRF. Por fim, analisando-se o Fluxo no Feriados, nota-se uma

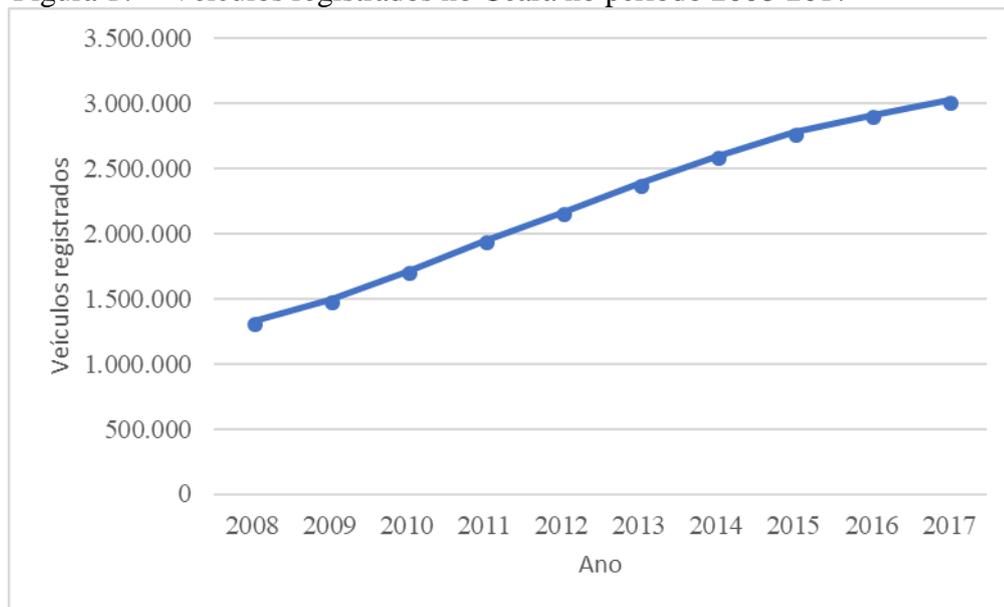
forte predominância de acidentes graves na saída e no retorno dos feriados (fixos ou não) em relação ao instante intermediário do feriado, caracterizando uma maior necessidade de operações (intervenção) no início e final dos feriados.

#### 4.3.6 Análise da variável Veículos

##### 4.3.6.1 Frota de veículos

A frota de veículos registrados no Ceará, segundo o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), mais que dobrou no período 2008-2017 (Figura 17). Em 2008, foram registrados no Ceará 1.322.287 veículos contra 3.025.176 em 2017 (um aumento de 128,78% no período).

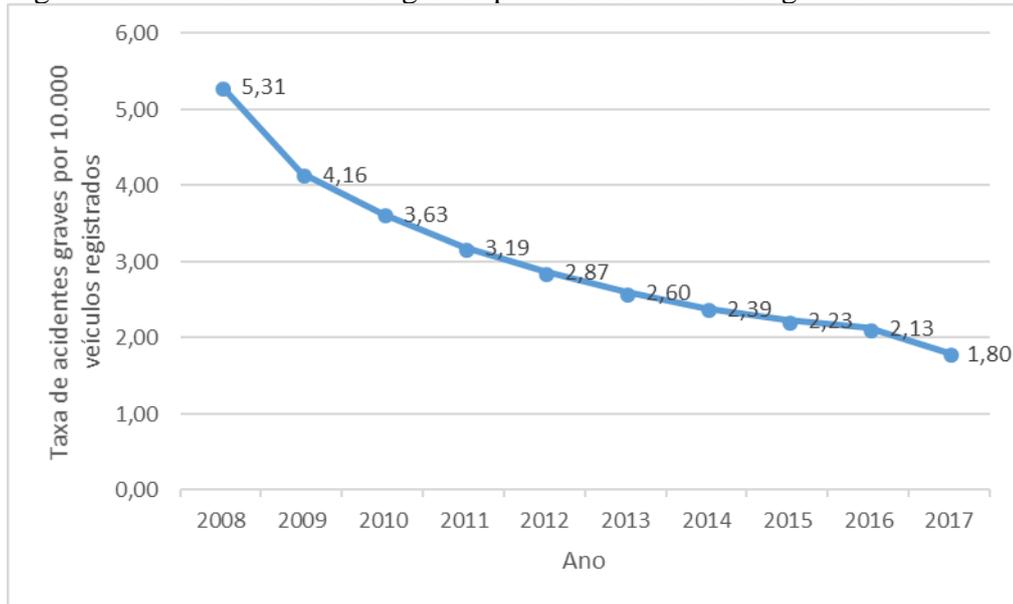
Figura 17 – Veículos registrados no Ceará no período 2008-2017



Fonte: DENATRAN (2018).

Apesar de a frota de veículos registrados ter aumentado no período em estudo, a taxa de acidentes graves por ano por 10.000 veículos registrados no Ceará diminuiu (Figura 18), onde se observam duas quedas mais abruptas nos segmentos 2008-2009 e 2016-2017. Em relação ao segmento 2008-2009, um fator decisivo foi a promulgação da Lei Seca em 19 de junho de 2008. Já em relação ao segmento de reta 2016-2017, a queda mais acentuada pode estar relacionada à grave crise econômica na qual está inserido o Brasil desde 2015.

Figura 18 – Taxa de acidentes graves por 10.000 veículos registrados no Ceará



Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018)-DENATRAN (2018).

#### 4.3.6.2 Tipos de veículos

Durante a década 2008-2017, nas rodovias federais do Ceará, 7.248 veículos se envolveram em acidentes graves. Alguns tipos de veículos apresentaram no SIGER/PRF pequenas diferenças de grafia que precisaram ser uniformizadas para fins de análise, quais foram: “Carro de mão/Carro-de-mão”, “Microônibus/Micro-ônibus”, “Motocicleta/Motocicletas” e “Semireboque/Semi-Reboque”.

Dentre as 15 combinações mais violentas de veículos, destacaram-se os 3.522 acidentes graves com envolvimento exclusivo de motocicletas (Tabela 17). No entanto, o alto índice do registro “não se aplica” (14,75%) acabou por prejudicar a utilização dessa variável.

Tabela 17 – As 15 combinações mais violentas de Veículos

<b>Combinações de veículos</b>	<b>Acidentes graves</b>	<b>Acidentes graves (%)</b>
Motocicleta	3522	44,09
Não se Aplica	1178	14,75
Automóvel	1124	14,07
Bicicleta	673	8,42
Caminhão	239	2,99
Motoneta	191	2,39
Caminhonete	186	2,33
Caminhão-Trator	148	1,85
Ciclomotor	134	1,68

(continua)

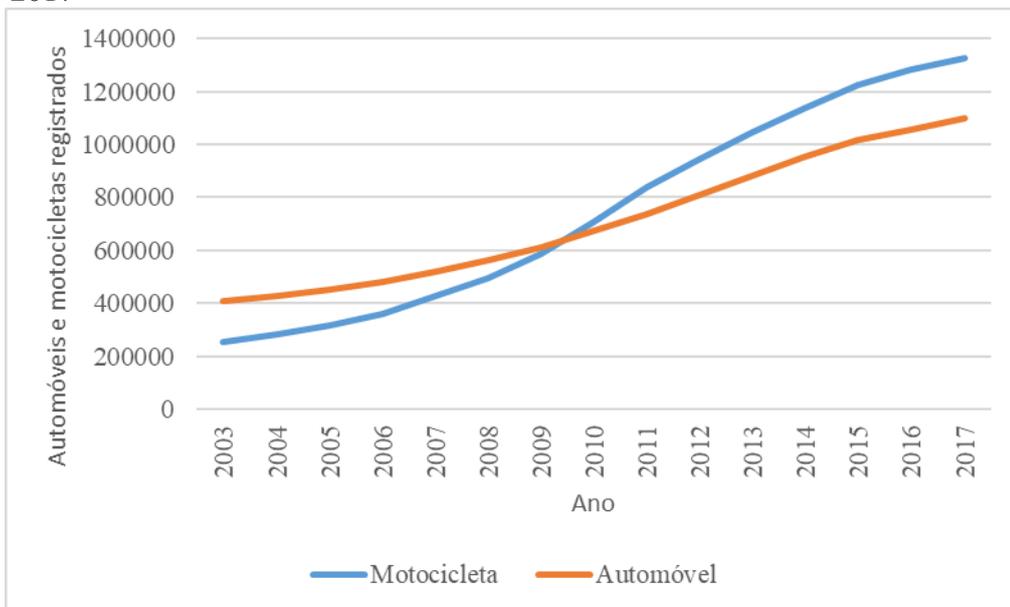
Tabela 17 – As 15 combinações mais violentas de Veículos

Combinações de veículos	Acidentes graves	Acidentes graves (%) (conclusão)
MotocicletaNão se Aplica	116	1,45
Camioneta	88	1,10
BicicletaMotocicleta	50	0,63
Ônibus	39	0,49
Micro-ônibus	32	0,40
AutomóvelMotocicleta	30	0,38
Demais combinações	239	2,99
Total Geral	7.989	100,00

Fonte: SIGER/PRF (2018).

Uma das explicações para as motocicletas encabeçarem a Tabela 17 está no número de motocicletas e automóveis registrados no Ceará de 2003 a 2017 (Figura 19). Entre os anos de 2009 e 2010, houve uma inversão: as motocicletas ultrapassaram os automóveis em unidades registradas. Além disso, distanciaram-se ano após ano. Uma das explicações para esse fenômeno foi a substituição da bicicleta, do animal e da carroça pela motocicleta, muitas vezes financiada a taxa de juro baixa com o propósito de alcançar, acima de tudo, a população de baixa renda, principalmente no interior do estado.

Figura 19 – Automóveis e motocicletas registrados no Ceará no período 2003-2017



Fonte: DENATRAN (2018).

### 4.3.7 Análise da variável Condutores

#### 4.3.7.1 CNH dos condutores

Um total de 6.152 condutores se envolveram nos 7.989 acidentes graves registrados nas rodovias federais do Ceará no período 2008-2017, mas um alto índice (57,05%) não teve a CNH informada ou disponibilizada (#N/D), o que acaba prejudicando sobremaneira a utilização dessa variável. A omissão de socorro e a fuga do local do acidente contribuem consideravelmente para esse alto índice. Houve predominância de condutores de motocicletas (categoria A) entre as 10 combinações de CNH dos condutores mais violentas (Tabela 18).

Tabela 18 – Distribuição dos acidentes graves por combinação de CNH dos condutores no Ceará no período 2008-2017

<b>Combinação de CNH</b>	<b>Acidentes graves</b>	<b>Acidentes graves (%)</b>
Não Informado	2376	29,74
#N/D	2182	27,31
Ab	1416	17,72
A	620	7,76
Ad	358	4,48
B	345	4,32
Ae	142	1,78
D	117	1,46
Ac	83	1,04
E	78	0,98
Demais combinações	272	3,41
<b>Total Geral</b>	<b>7.989</b>	<b>100,00</b>

Fonte: SIGER/PRF (2018).

#### 4.3.7.2 Gênero dos condutores

Enquanto 69,11% dos 7.989 acidentes graves envolveram apenas homens, em 2,94% os envolvidos foram exclusivamente mulheres (Tabela 19). No entanto, um alto percentual (27,31%) de condutores não teve o gênero identificado, prejudicando a utilização da variável numa análise estatística. Essa problemática (não identificação de gênero do condutor) pode estar relacionada ao fato de, em certas ocasiões, em decorrência das grandes distâncias percorridas, a equipe da PRF chegar ao local do acidente e encontrá-lo desfeito, com a fuga de condutores.

Tabela 19 – Distribuição dos acidentes graves por combinação de gênero dos condutores no Ceará no período 2008-2017

<b>Gênero do condutor</b>	<b>Acidentes graves</b>	<b>Acidentes graves (%)</b>
Masculino	5521	69,11
#N/D	2182	27,31
Feminino	235	2,94
FemininoMasculino	24	0,30
Inválido	17	0,21
Não Informado	6	0,08
InválidoMasculino	2	0,03
MasculinoNão Informado	1	0,01
IgnoradoMasculino	1	0,01
Total Geral	7989	100,00

Fonte: SIGER/PRF (2018).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os acidentes graves registrados nas rodovias federais do Ceará no período 2008-2017, há uma classe que se destaca na pesquisa por sua relevância social, tanto em termos de valor familiar ou sentimental como em termos financeiros: a dos acidentes fatais.

Dos 7.989 acidentes graves ocorridos no período 2008-2017, houve pelo menos uma morte em 24,12% deles, demonstrando um alto índice de fatalidade nas rodovias federais e um custo com acidentes fatais da ordem de R\$ 1.246.321.185,38 (mais de 1 bilhão de reais) no Ceará no período 2008-2017, o que equivale a R\$ 10.385.934,88 (mais de 10 milhões) por mês.

Esses números mostram a importância de se buscar um modelo estatístico que evidencie as variáveis explicativas mais associadas à incidência de fatalidade nos acidentes graves ocorridos nas rodovias federais, lembrando que, segundo Cordeiro e Demétrio (2007), a seleção de modelos consiste na procura de um modelo que seja o mais simples possível e que descreva bem os dados observados.

### 5.1 Descrição das variáveis

Como ponto de partida para a busca de modelos estatísticos que descrevam os acidentes graves e fatais nas rodovias e estradas federais, definiram-se as variáveis abaixo.

#### 5.1.1 Variável resposta

- a)  $Y$ : variável binária indicadora de fatalidade em acidentes graves.

#### 5.1.2 Variáveis explicativas de natureza espacial

- a) Tipo de Pista ( $s_1$ ): variável categórica nominal, indica o tipo de pista (simples, dupla ou múltipla);
- b) Local Urbanizado ( $s_2$ ): variável categórica ordinal, indica o nível de urbanização do local onde ocorreu o acidente grave (ver 4.3.2);
- c) Estrutura Viária ( $s_3$ ): variável categórica nominal, indica o traçado da via (reta, curva ou cruzamento);

- d) Sentido da Via ( $s_4$ ): variável categórica nominal, indica o sentido da via (crescente ou decrescente).

### **5.1.3 Variáveis explicativas de natureza temporal**

- a) Ano ( $t_1$ ): variável categórica ordinal, indica o ano;
- b) Mês ( $t_2$ ): variável categórica ordinal, indica o mês;
- c) Começo de Mês ( $t_3$ ): variável binária, indica se o acidente ocorreu até o dia 10 de cada mês;
- d) Férias ( $t_4$ ): variável binária, indica se o mês é de férias (janeiro, julho e dezembro);
- e) Dia da Semana ( $t_5$ ): variável categórica ordinal, indica o dia da semana;
- f) Tipo de Feriado ( $t_6$ ): variável categórica nominal, indica o tipo de feriado (ver 4.3.5);
- g) Fluxo nos Feriados ( $t_7$ ): variável categórica ordinal, indica a direção dos veículos durante os feriados (ver 4.3.5);
- h) Hora ( $t_8$ ): variável quantitativa contínua, indica a hora ajustada (ver 4.3.3);
- i) Fase do Dia ( $t_9$ ): variável categórica ordinal, indica a fase do dia (ver 4.3.4).

### **5.1.4 Variáveis explicativas de natureza específica**

- a) Tipo de Acidente ( $e_1$ ): variável categórica nominal, indica o tipo de acidente grave;
- b) Causa do Acidente ( $e_2$ ): variável categórica nominal, indica a causa principal do acidente grave.

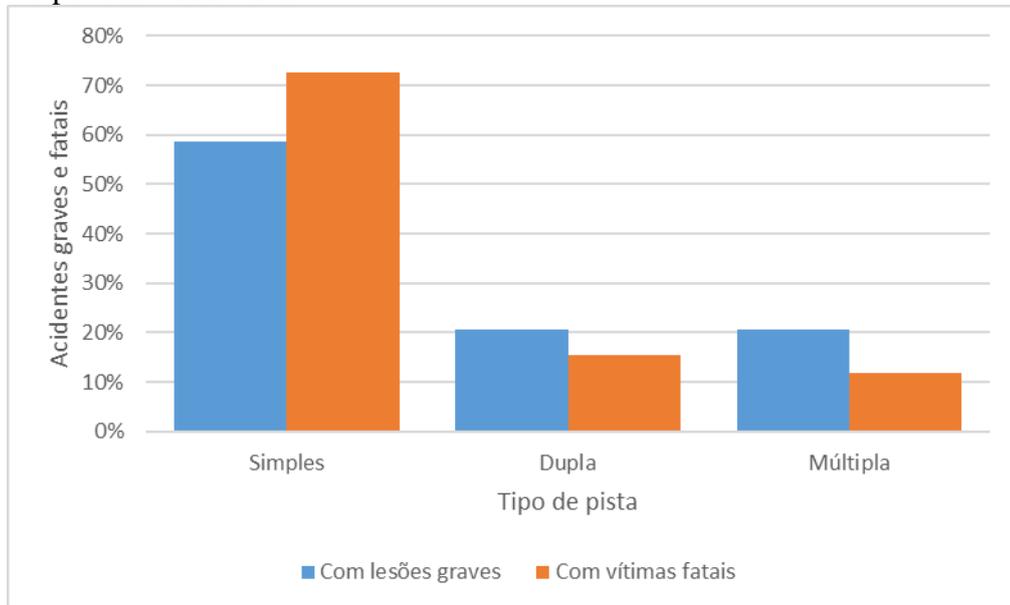
## **5.2 Análise Descritiva**

### **5.2.1 Análise descritiva das variáveis de natureza espacial**

Na pista simples, ocorreu a maior porcentagem de acidentes graves e fatais nas rodovias e estradas federais do Ceará no período 2008-2017, tendo os acidentes fatais uma

porcentagem ainda maior (Figura 20). Nas pistas dupla e múltipla, ocorreu uma inversão: os acidentes graves passaram a ter percentuais maiores que os fatais.

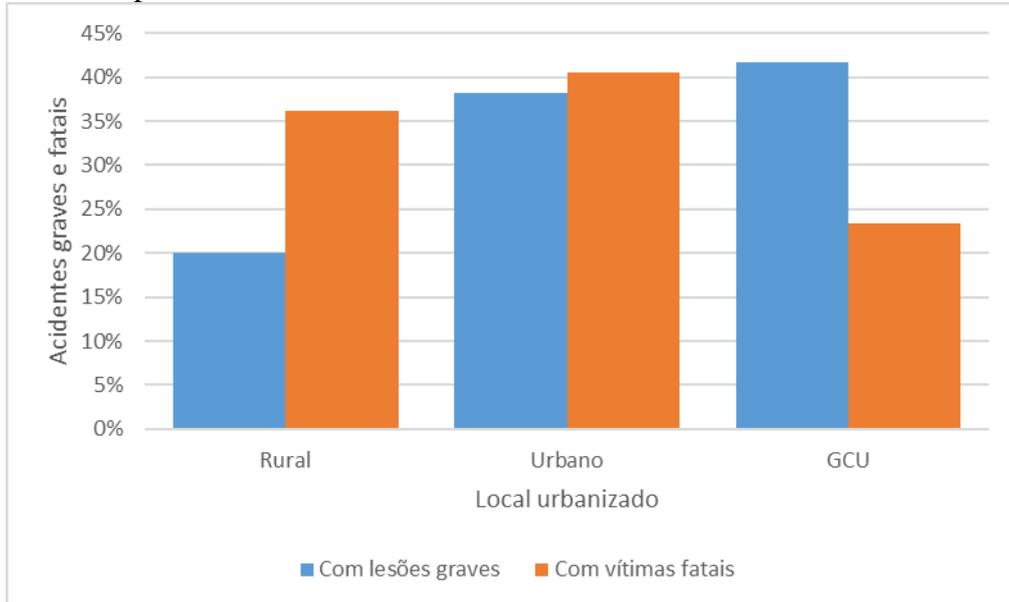
Figura 20 – Distribuição de acidentes graves e fatais por tipo de pista no Ceará no período 2008-2017



Fonte: SIGER/PRF (2018).

Em solos rurais, o percentual de acidentes fatais foi bem superior ao de acidentes graves (Figura 21). Essa diferença foi diminuindo à medida que o solo deixou de ser rural e passou a ser urbano, invertendo-se quando alcançou o nível de urbanização dos grandes centros urbanos. Assim, pode-se dizer que o risco de um motorista se envolver num acidente fatal é reduzido consideravelmente quando ele sai da zona rural em direção à zona urbana e aos grandes centros urbanos, e isso se deve, pelo menos em parte, à alta velocidade imprimida pelos veículos nas zonas rurais em comparação às zonas urbanas e aos grandes centros urbanos.

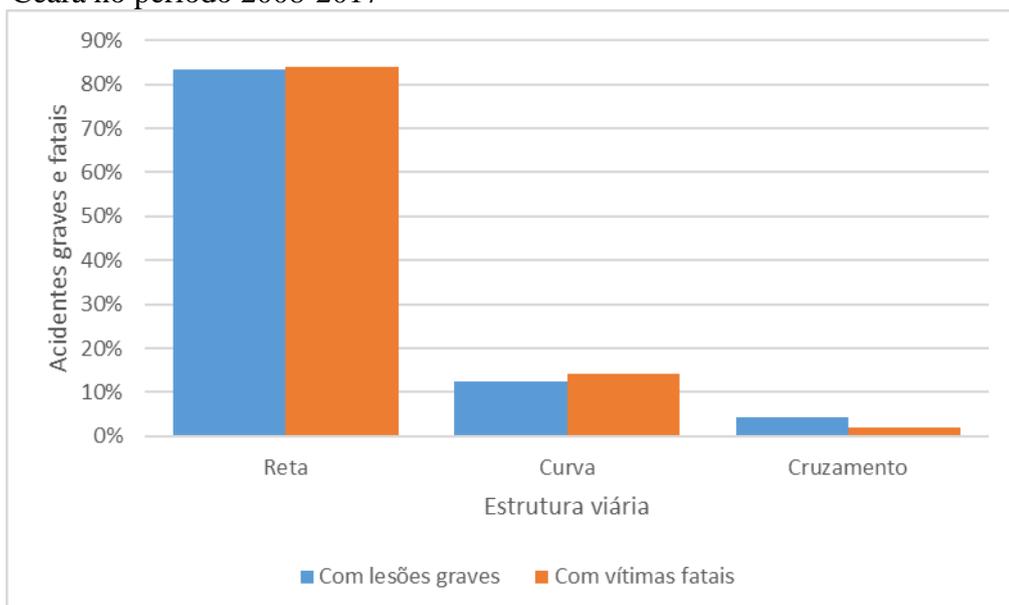
Figura 21 – Distribuição de acidentes graves e fatais por local urbanizado no Ceará no período 2008-2017



Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018).

A fatalidade se sobrepôs um pouco nas curvas, mas foi compensada nos cruzamentos (Figura 22). Em retas, o comportamento dos acidentes graves foi semelhante ao dos fatais, tendo ambos um percentual acima de 80%. Não se constatou uma sobreposição efetiva dos acidentes fatais sobre os graves em razão do tipo de pista.

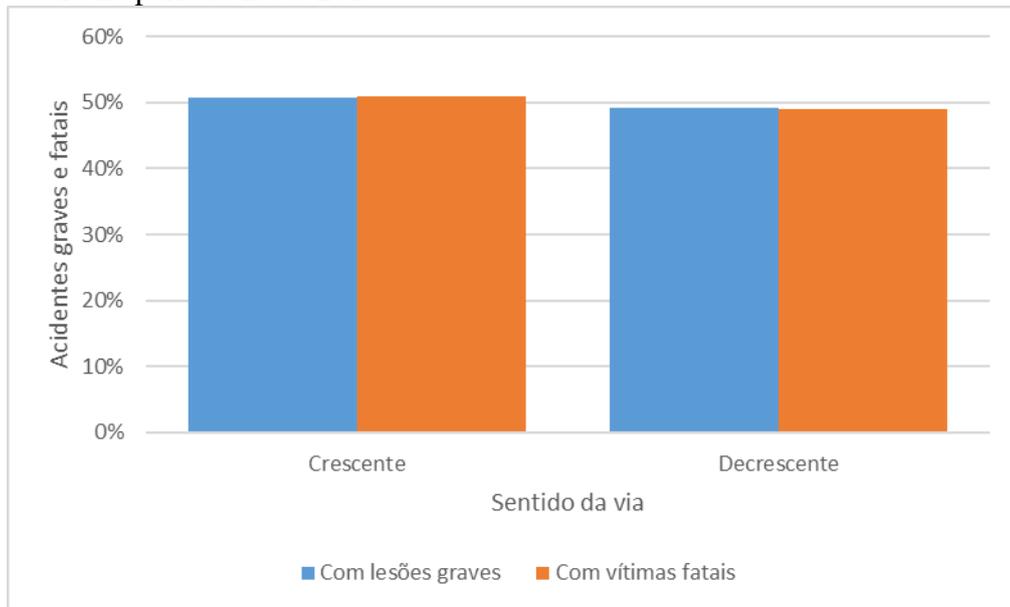
Figura 22 – Distribuição de acidentes graves e fatais por estrutura viária no Ceará no período 2008-2017



Fonte: SIGER/PRF (2018).

Apesar de ter havido, proporcionalmente, mais fatalidade no sentido crescente das rodovias, os percentuais ficaram muito próximos a 50%, caracterizando comportamento semelhante entre os acidentes graves e os fatais (Figura 23).

Figura 23 – Distribuição de acidentes graves e fatais por sentido da via no Ceará no período 2008-2017

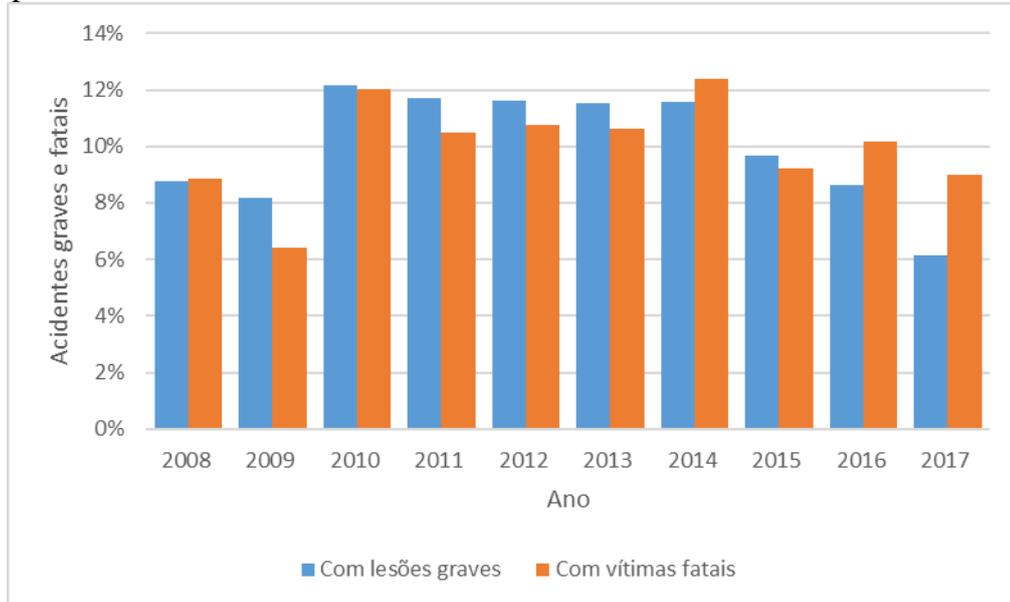


Fonte: SIGER/PRF (2018).

### 5.2.2 *Análise descritiva das variáveis de natureza temporal*

Considerando a década em análise, percebeu-se que, nos anos de 2014, 2016 e 2017, a porcentagem de acidentes fatais foi maior que a de acidentes graves, demonstrando uma evolução da gravidade dos acidentes nos últimos anos (Figura 24).

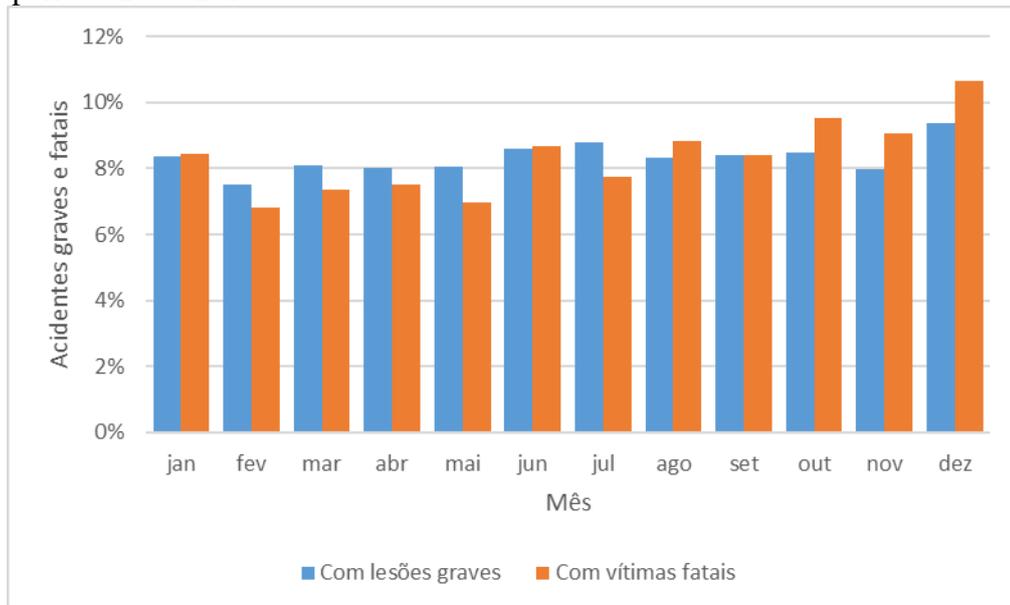
Figura 24 – Distribuição de acidentes graves e fatais por ano no Ceará no período 2008-2017



Fonte: SIGER/PRF (2018).

Nos últimos três meses (outubro, novembro e dezembro), o percentual de acidentes fatais se distanciou do de acidentes graves, demonstrando um aumento da gravidade dos acidentes (Figura 25).

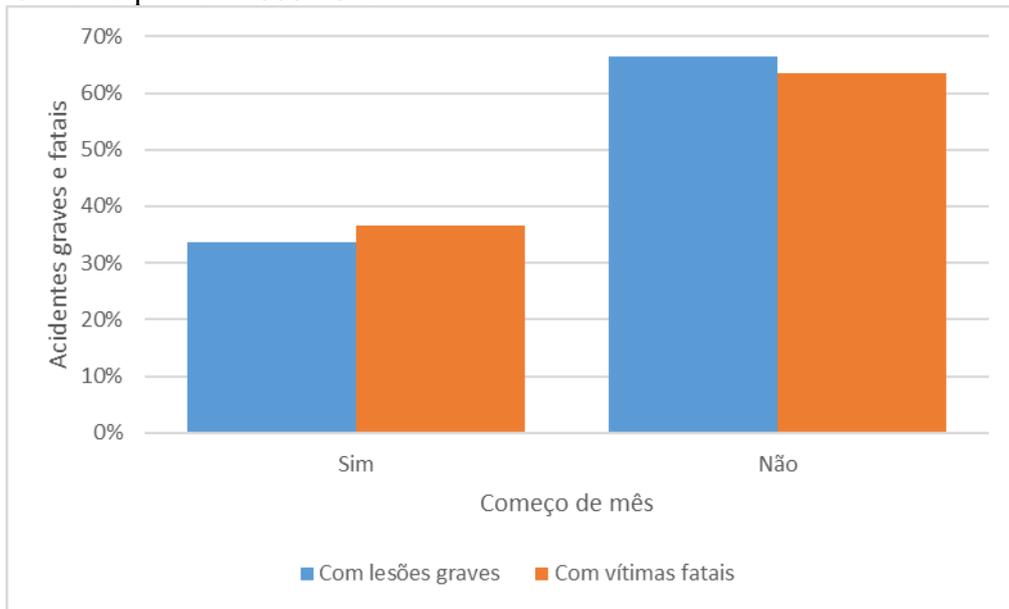
Figura 25 – Distribuição de acidentes graves e fatais por mês no Ceará no período 2008-2017



Fonte: SIGER/PRF (2018).

No começo de mês, o percentual de acidentes fatais foi maior que o de graves, porém, no restante do mês, houve uma inversão (Figura 26). Isso pode estar relacionado ao momento de recebimento de salários (renda) dos trabalhadores, que ocorre no início do mês, momento escolhido por muitos para realizar suas viagens, já que é bem mais confortável viajar com dinheiro no bolso.

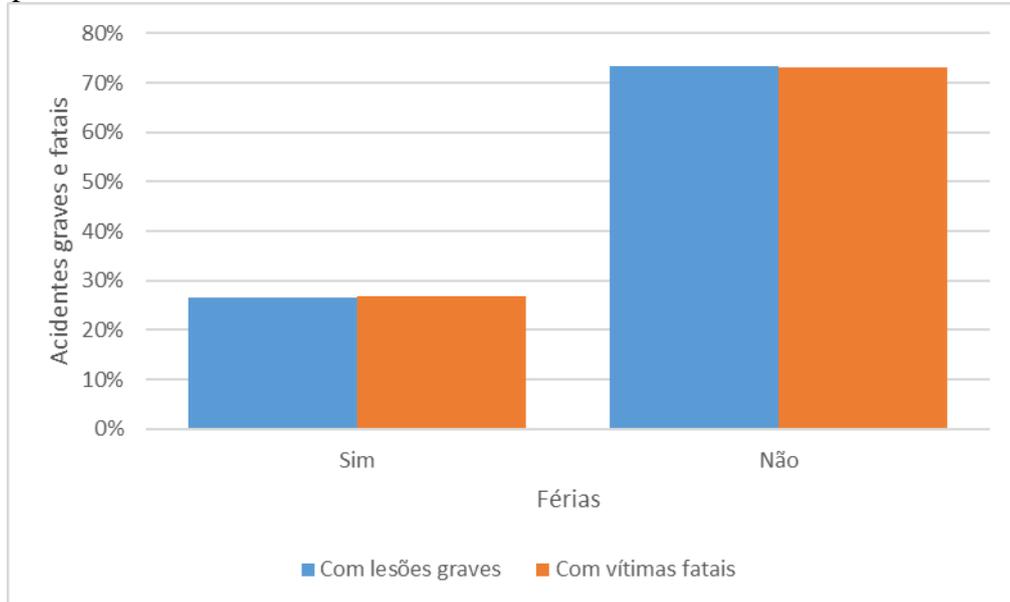
Figura 26 – Distribuição de acidentes graves e fatais por começo de mês no Ceará no período 2008-2017



Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018).

Nos meses de férias e naqueles de período letivo normal dos estudantes, notou-se uma total semelhança no comportamento dos acidentes graves e fatais (Figura 27).

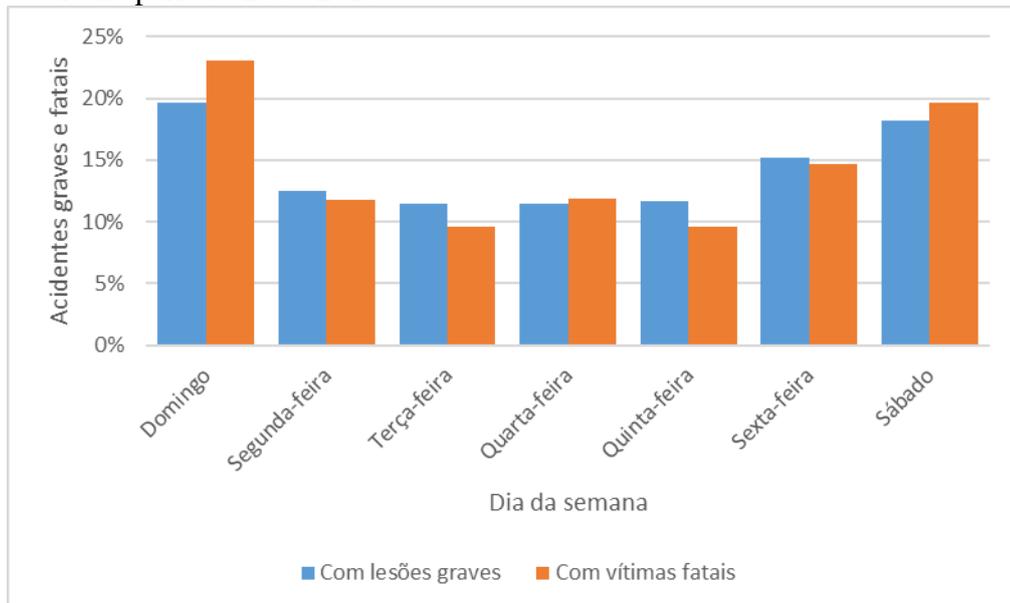
Figura 27 – Distribuição de acidentes graves e fatais por férias no Ceará no período 2008-2017



Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018).

Os acidentes graves e fatais aumentaram à medida que o dia da semana se aproximou do final de semana (sexta-feira, sábado e domingo), havendo maior gravidade (fatalidade) aos sábados e domingos (Figura 28).

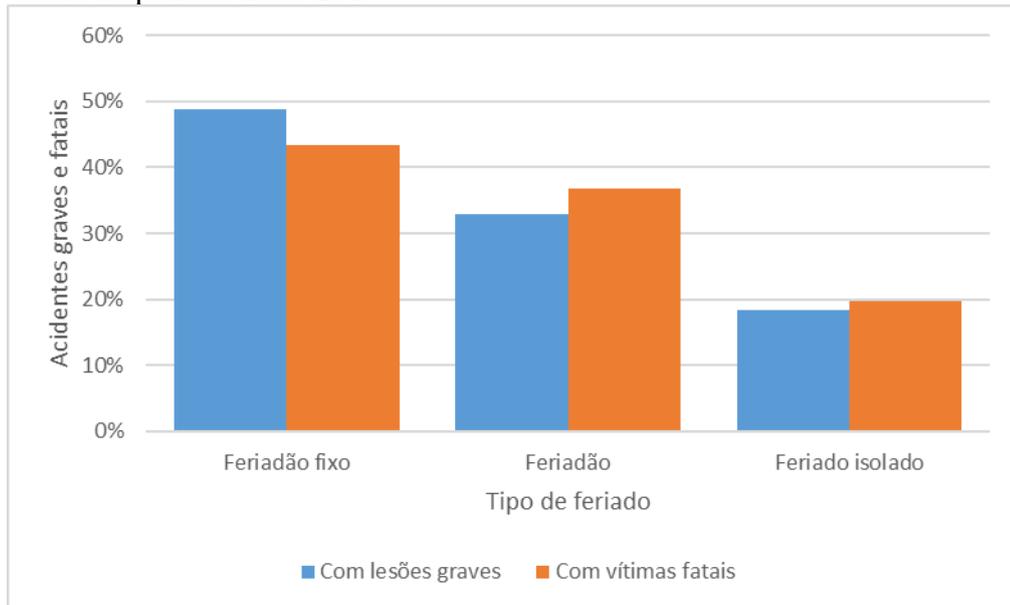
Figura 28 – Distribuição de acidentes graves e fatais por dia da semana no Ceará no período 2008-2017



Fonte: SIGER/PRF (2018).

Os dias comuns foram os grandes vilões dos acidentes graves e fatais, registrando percentuais em torno de 90% das ocorrências; no entanto, no comparativo entre si (acidentes graves “versus” acidentes fatais), notou-se comportamentos semelhantes tanto em dias comuns quanto em feriados (Figura 29).

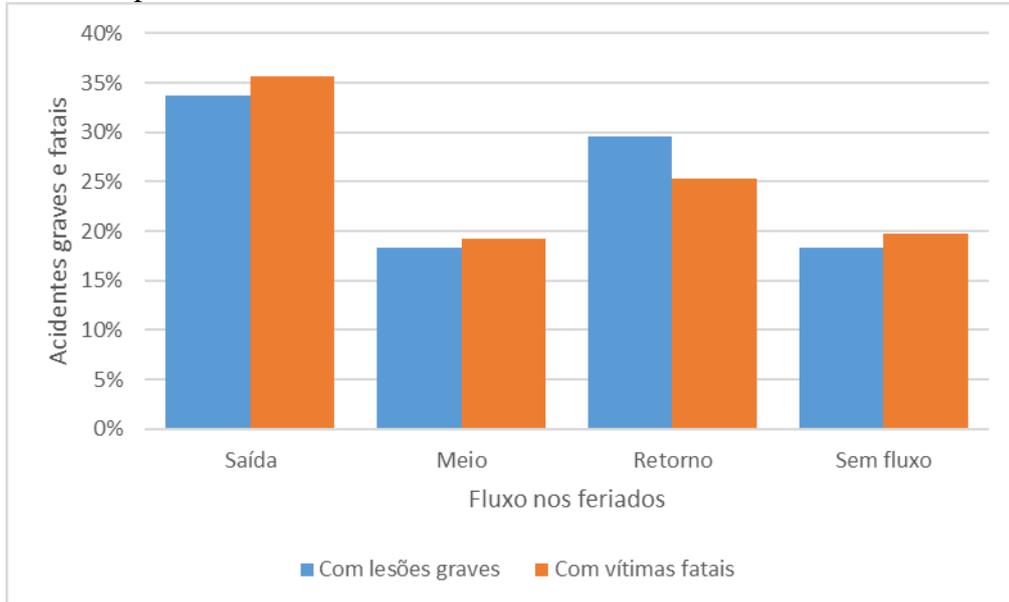
Figura 29 – Distribuição de acidentes graves e fatais por tipo de feriado no Ceará no período 2008-2017



Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018).

Quanto ao fluxo nos feriados, os maiores índices estiveram presentes na saída e no retorno dos feriados, e os menores, no dia do meio e nos feriados isolados (Figura 30). A saída dos feriados se mostrou a grande vilã dos acidentes graves e fatais de trânsito por dois motivos: primeiro porque reuniu os maiores percentuais (tanto de acidentes graves quanto de acidentes fatais); segundo porque, no comparativo entre os acidentes (acidentes graves “versus” acidentes fatais), o percentual de acidentes fatais ficou maior que o de acidentes graves, demonstrando alto índice de gravidade dos acidentes. Isso pode estar relacionado à pressa ao volante na saída dos feriados com o propósito de aproveitá-los mais.

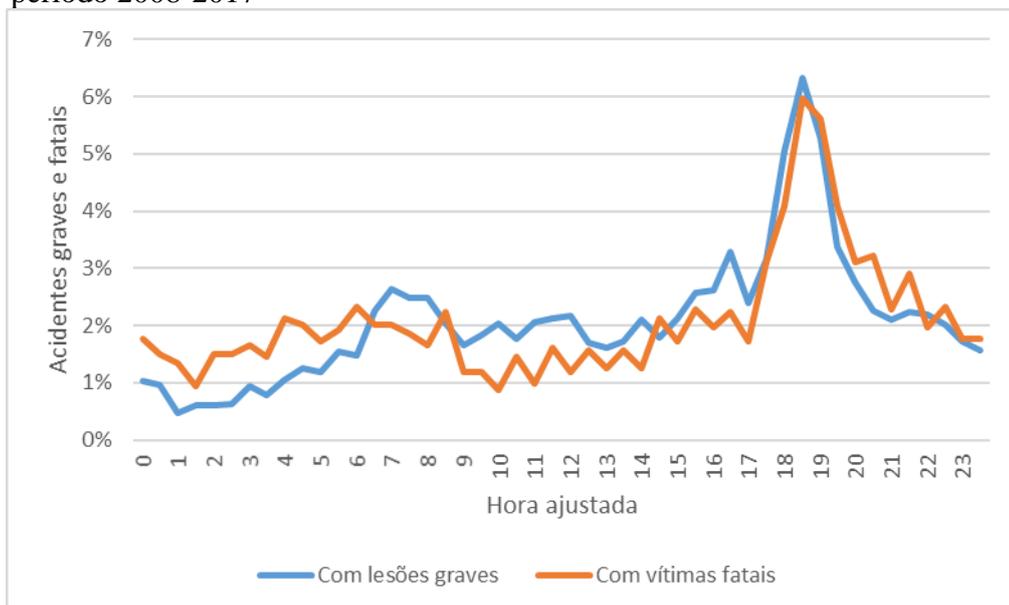
Figura 30 – Distribuição de acidentes graves e fatais por fluxo nos feriados no Ceará no período 2008-2017



Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018).

No período de 19h às 5h da manhã, passando pela meia noite, houve um percentual maior de acidentes fatais em relação aos graves, em termos proporcionais, demonstrando maior gravidade dos acidentes (Figura 31). Já no período de 6,5h às 18,5h, com exceção das 8,5h, observou-se o contrário: um percentual menor dos acidentes fatais em relação aos graves, demonstrando menor gravidade dos acidentes.

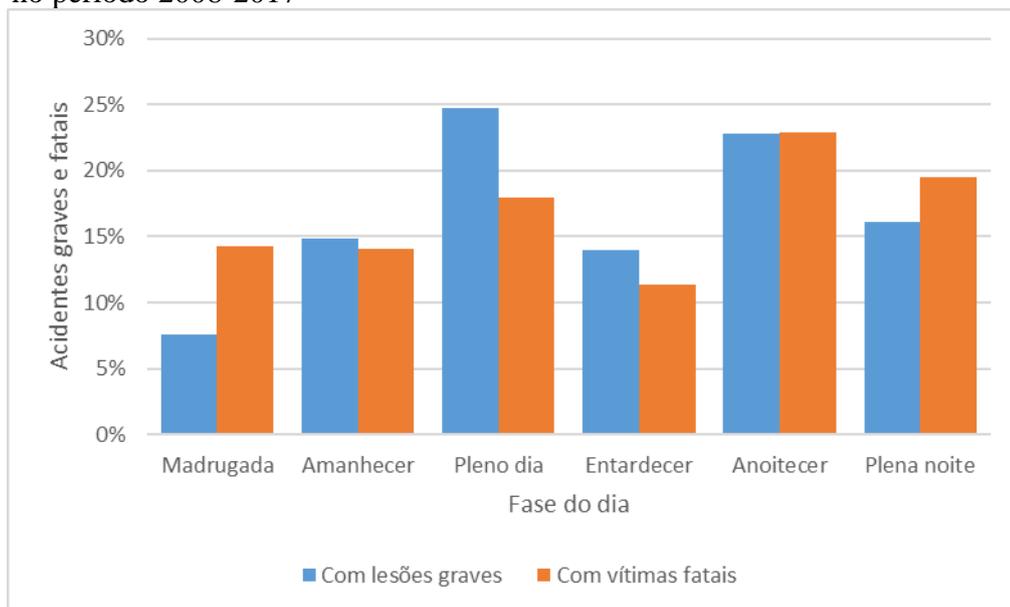
Figura 31 – Distribuição de acidentes graves e fatais por hora no Ceará no período 2008-2017



Fonte: SIGER/PRF (2018).

A análise por Fase do Dia só confirmou o constatado no parágrafo anterior: um percentual maior de acidentes fatais na madrugada e em plena noite, porém menor no pleno dia e ao entardecer (Figura 32). No amanhecer e ao anoitecer, os percentuais ficaram semelhantes para ambos os tipos de acidentes (graves e fatais).

Figura 32 – Distribuição de acidentes graves e fatais por fase do dia no Ceará no período 2008-2017

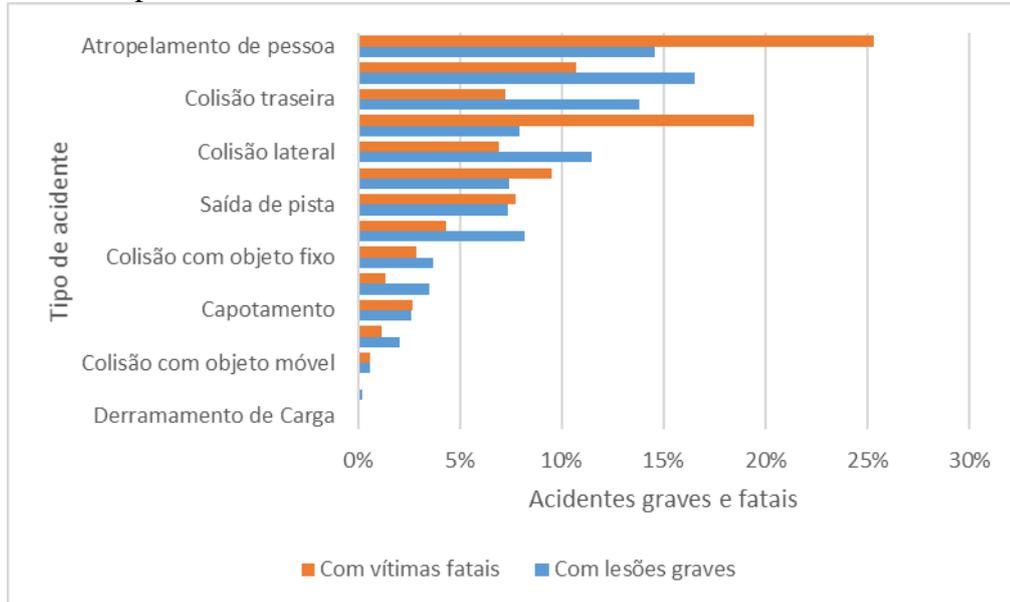


Fonte: Elaborada pelo autor-SIGER/PRF (2018).

### 5.2.3 *Análise descritiva das variáveis de natureza específica*

O atropelamento de pessoa e a colisão frontal foram, disparados, os dois tipos de acidente que mais mataram nas rodovias e estradas federais do Ceará no período 2008-2017, e isso decorre claramente da fragilidade do pedestre frente aos veículos e do efeito soma das velocidades dos veículos nas colisões frontais (Figura 33).

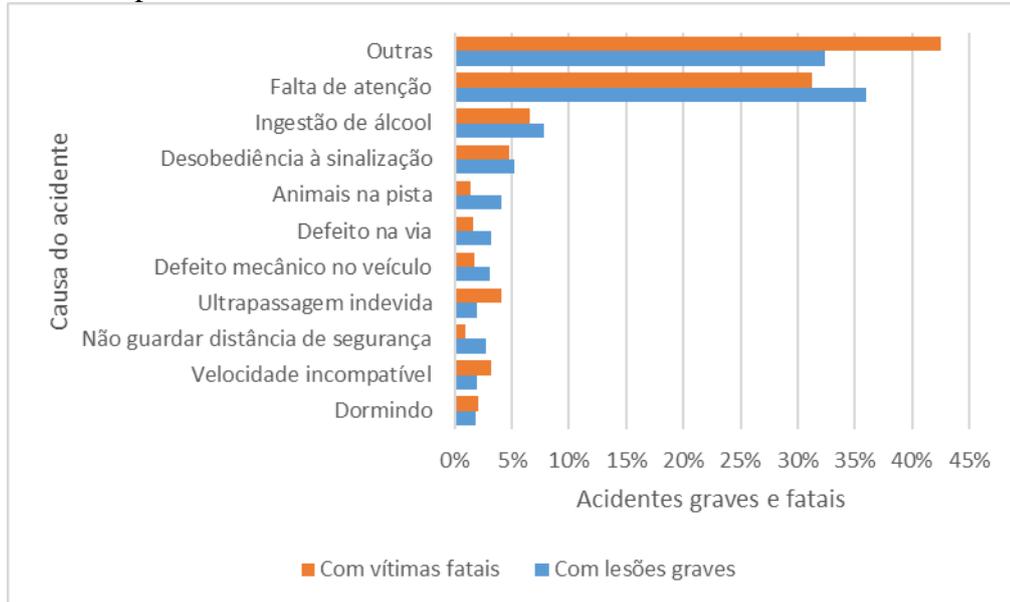
Figura 33 – Distribuição de acidentes graves e fatais por tipo de acidente no Ceará no período 2008-2017



Fonte: SIGER/PRF (2018).

A maior causa de acidentes fatais (entre 40 e 45%) nas rodovias e estradas federais cearenses no período 2008-2017 foi “outras”, um registro genérico que demonstra a necessidade de mais detalhamento e atenção na hora do preenchimento (Figura 34). Tal situação foi percebida pelo órgão e corrigida parcialmente em 2017 com a entrada em vigor de novos registros, como “carga excessiva e/ou mal acondicionada”, “mal súbito” e “restrição de visibilidade”.

Figura 34 – Distribuição de acidentes graves e fatais por causa do acidente no Ceará no período 2008-2017



Fonte: SIGER/PRF (2018).

Outro fato que certamente muito contribuiu para o registro da causa “outras” foi o tempo de chegada da PRF ao local do acidente, naturalmente maior em razão das longas distâncias percorridas pelas viaturas nas rodovias e estradas federais, contribuindo ainda para a fuga de suspeitos e a descaracterização de evidências fundamentais à compreensão da dinâmica do acidente.

A imprudência esteve muito presente às causas dos acidentes fatais, haja vista “falta de atenção”, “ingestão de álcool” e “desobediência à sinalização” aparecerem na sequência dos maiores percentuais (Figura 34).

Destaca-se ainda a discrepância entre os acidentes graves e fatais diante das causas “ultrapassagem indevida” e “velocidade incompatível”, demonstrando seu alto potencial de gravidade (Figura 34). Dessa forma, intervenções no sentido de combatê-las trariam enormes ganhos em termos de vidas salvas.

### 5.3 Análise Inferencial

Pode-se dizer que, depois de proceder eventualmente a uma análise descritiva dos fenômenos ou observações passadas, o propósito de qualquer estatístico é fazer inferências ou previsões acerca dos novos fenômenos ou de novas observações da mesma natureza. [...] Para os investigadores, mesmo para aqueles que dão o devido apreço ao aspecto descritivo, o aspecto inferencial ou preditivo é mais importante (PAULINO, TURKMAN e MURTEIRA, 2003).

“Modelos log-lineares são comumente usados para analisar a relação entre variáveis em tabelas multidimensionais. O objetivo do uso de procedimentos de modelagem log-linear é geralmente identificar o modelo mais simples que se ajusta aos dados de forma adequada” (OLMUS e ERBAS, 2012).

Suponha-se que a proporção de acidentes fatais em relação aos acidentes graves possa ser explicada por meio de um MLG do tipo logístico, também chamado log-linear, em que  $Y \sim \text{Bernoulli}(\pi)$ , com probabilidade de ocorrência de fatalidade, entre os acidentes graves, dada por  $\pi$ .

### 5.3.1 Modelo logístico de natureza espacial

Considerando que  $Y$  possa ser explicado pelas variáveis explicativas de natureza espacial descritas em 5.1.2, tem-se em (12) o modelo logístico de natureza espacial:

$$\ln \left[ \frac{\pi}{1 - \pi} \right] = \eta = \beta_0 + \beta_1 \text{Pista} + \beta_2 \text{Urbanização} + \beta_3 \text{Traçado} + \beta_4 \text{Sentido} \quad (12)$$

cuja probabilidade de ocorrência de fatalidade entre os acidentes graves é dada por:

$$\pi = P[Y = 1|\eta] = \frac{\exp \eta}{1 + \exp \eta} \quad (13)$$

Todos os modelos logísticos desenvolvidos nesta pesquisa utilizaram a função de ligação logito (ligação canônica) e o *software* Action Stat, versão 3.4.124.1308 build 3, de 28/01/2018, cuja plataforma-base é o *software* R, versão 3.0.2, para a obtenção de resultados relativos ao ajuste dos modelos, à qualidade dos mesmos, às estimativas dos parâmetros e às razões de chance (*odds ratio*).

O desvio (*deviance* residual) do modelo de natureza espacial ficou em 8.447,829 com 7.928 graus de liberdade (+6,56%, indicando um ajuste adequado), e o AIC, em 8.463,82 (Tabela 20).

Tabela 20 – Qualidade do modelo logístico de natureza espacial

Qualidade do modelo	Valor
Interações do escore de Fisher	4
Deviance nula	8759,078 com 7935 Graus de Liberdade
Deviance residual	8447,829 com 7928 Graus de Liberdade
AIC	8463,829194
Parâmetro de dispersão	1

Analisando-se o valor  $p$  dos parâmetros, percebeu-se que as variáveis Local Urbanizado (rural), Local Urbanizado (urbano), Estrutura Viária (reta) e Estrutura Viária (curva) apresentaram, respectivamente, maior significância estatística ao nível de confiança de 0,95 e que, apesar do alto percentual de acidentes graves em pistas simples, a variável Tipo de Pista não se mostrou estatisticamente significativa para ocorrência de fatalidades em acidentes graves (Tabela 21). A variável Sentido da Via também não se mostrou significativa à fatalidade em acidentes graves. A estimativa dos parâmetros indica que todas as variáveis com significância estatística ( $p < 0,05$ ) contribuíram para o aumento de fatalidade nos acidentes graves, umas mais (a exemplo do Local Urbanizado “rural”), outras menos (a exemplo da Estrutura Viária “reta”).

Tabela 21 – Parâmetros do modelo logístico de natureza espacial

Variável	Estimativa	Erro padrão	Teste de Wald	Valor $p$	Lim. inf.	Lim. sup.
Intercepto	-2,49	0,20	-12,52	0,0000	-2,88	-2,10
UrbanizacaoRural	1,07	0,09	11,80	0,0000	0,89	1,25
UrbanizacaoUrbano	0,57	0,08	7,03	0,0000	0,41	0,73
TracadoReta	0,77	0,18	4,14	0,0000	0,40	1,13
<b>TracadoCurva</b>	<b>0,77</b>	<b>0,20</b>	<b>3,94</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,39</b>	<b>1,16</b>
PistaSimples	0,10	0,08	1,18	0,2364	-0,06	0,26
SentidoDecrescente	0,02	0,05	0,40	0,6905	-0,08	0,13
PistaMúltipla	-0,03	0,10	-0,27	0,7837	-0,23	0,17

A chance de fatalidade em acidentes graves, quando comparada com os grandes centros urbanos, aumentou 77% na zona urbana e 192% na zona rural (Tabela 22). Seguindo no mesmo raciocínio, essa chance foi 117% maior em curvas e 115% maior em retas em comparação aos cruzamentos.

Tabela 22 – Razões de chance (*odds ratio*) do modelo logístico de natureza espacial

Variável	Categorias	Odds Ratio	Lim. inf.	Lim. sup.
Pista	Múltipla vs Dupla	0,97	0,80	1,19
	Simples vs Dupla	1,10	0,94	1,29
Urbanizacáo	Rural vs GCU	2,92	2,44	3,49
	Urbano vs GCU	1,77	1,51	2,07
Tracado	Curva vs Cruzamento	2,17	1,47	3,18
	Reta vs Cruzamento	2,15	1,50	3,09
Sentido	Decrescente vs Crescente	1,02	0,92	1,13

Assim, a chance de ocorrer fatalidade em acidentes graves aumentou com a redução na urbanização do solo e na presença de retas e curvas. Esse resultado pode estar relacionado à velocidade imprimida pelos veículos no momento da colisão, já que, nos trechos rurais, os veículos desenvolvem velocidade bem superior à dos trechos urbanos e, mais ainda, à dos grandes centros urbanos.

Ao final, acrescentaram-se ao modelo interações de 1ª ordem entre as variáveis explicativas significativas ( $p < 0,05$ ), mas nenhuma se mostrou estatisticamente significativa ao nível de confiança de 0,95, alcançando, a interação mais significativa (entre Local Urbanizado “Rural” e Estrutura Viária “Reta”),  $p = 0,1265$ .

### 5.3.2 Modelo logístico de natureza temporal

Em virtude do grande número de variáveis temporais, foram criados dois grupos: temporal 1 (Ano, Mês e Começo de Mês) e temporal 2 (Férias, Dia da Semana, Tipo de Feriado, Fluxo nos Feriados e Fase do Dia). A variável Hora Ajustada, por já ter seus efeitos incluídos na variável Fase do Dia, não será considerada na construção do modelo de natureza temporal.

Considerando que  $Y$  possa ser explicado pelas três primeiras variáveis explicativas de natureza temporal descritas em 5.1.3, tem-se em (14) o modelo logístico de natureza temporal 1:

$$\ln \left[ \frac{\pi}{1 - \pi} \right] = \eta = \beta_0 + \beta_1 \text{Ano} + \beta_2 \text{Mês} + \beta_3 \text{Começo de mês} \quad (14)$$

O desvio (*deviance* residual) do modelo de natureza temporal 1 ficou em 8.776,49 com 7.967 graus de liberdade (+10,16%, indicando um ajuste adequado), e o AIC, em 8.820,49 (Tabela 23).

Tabela 23 – Qualidade do modelo logístico de natureza temporal 1

Qualidade do modelo	Valor
Interações do escore de Fisher	4
<i>Deviance</i> nula	8827,315 com 7988 Graus de Liberdade
<i>Deviance</i> residual	8776,498 com 7967 Graus de Liberdade
AIC	8820,497957
Parâmetro de dispersão	1

Analisando-se o valor  $p$  dos parâmetros, percebeu-se que as variáveis Ano (2017), Começo de Mês (sim) e Ano (2009) se apresentaram como as estatisticamente mais significativas ( $p < 0,05$ ), respectivamente, em termos de fatalidade ao nível de confiança de 0,95 (Tabela 24). A estimativa dos parâmetros indica que todas as variáveis com significância estatística ( $p < 0,05$ ) contribuíram para o aumento de fatalidade nos acidentes graves, umas mais (a exemplo do Local Urbanizado “rural”), outras menos (a exemplo da Estrutura Viária “reta”). A estimativa dos parâmetros indica que a variável com significância estatística ( $p < 0,05$ ) que contribuiu para a redução (valor negativo do parâmetro) de fatalidade nos acidentes graves foi a Ano (2009), enquanto as demais, Ano (2017) e Começo de Mês (sim), contribuíram para o aumento (valor positivo do parâmetro).

Tabela 24 – Parâmetros do modelo logístico de natureza temporal 1

Variável	Estimativa	Erro padrão	Teste de Wald	Valor $p$	Lim. inf.	Lim. sup.
Intercepto	-1,24	0,13	-9,66	0,0000	-1,49	-0,99
Ano2017	0,36	0,13	2,85	0,0044	0,11	0,61
Comeco_MesSim	0,14	0,05	2,50	0,0125	0,03	0,24
<b>Ano2009</b>	<b>-0,27</b>	<b>0,13</b>	<b>-1,98</b>	<b>0,0474</b>	<b>-0,53</b>	<b>0,00</b>
Mesdez	0,19	0,13	1,53	0,1255	-0,05	0,44
Mesnov	0,20	0,13	1,52	0,1274	-0,06	0,45
Mesout	0,17	0,13	1,35	0,1768	-0,08	0,42
Ano2016	0,15	0,12	1,24	0,2150	-0,09	0,39
Ano2011	-0,13	0,12	-1,05	0,2923	-0,36	0,11
Mesago	0,13	0,13	0,96	0,3364	-0,13	0,38
Ano2013	-0,10	0,12	-0,80	0,4235	-0,33	0,14
Ano2012	-0,09	0,12	-0,76	0,4457	-0,32	0,14

(continua)

Tabela 24 – Parâmetros do modelo logístico de natureza temporal 1

Variável	Estimativa	Erro padrão	Teste de Wald	Valor <i>p</i>	Lim. inf.	Lim. sup.
					(conclusão)	
Mesmai	-0,08	0,14	-0,59	0,5566	-0,35	0,19
Mesjan	0,07	0,13	0,51	0,6067	-0,19	0,32
Ano2015	-0,06	0,12	-0,51	0,6088	-0,30	0,18
Mesjul	-0,07	0,13	-0,51	0,6123	-0,33	0,19
Mesjun	0,07	0,13	0,51	0,6124	-0,19	0,32
Ano2014	0,06	0,12	0,49	0,6264	-0,17	0,28
Messet	0,06	0,13	0,46	0,6449	-0,20	0,32
Mesmar	-0,04	0,13	-0,32	0,7454	-0,31	0,22
Mesfev	-0,04	0,14	-0,26	0,7922	-0,31	0,23
Ano2010	-0,03	0,12	-0,22	0,8287	-0,25	0,20

A chance de ocorrer fatalidade em um acidente grave em 2009 foi 23% menor que em 2008, e, ao longo da década, oscilou com tendência crescente até alcançar, em 2017, o nível de 44% (Tabela 25). Também se pode perceber que as chances de alguém morrer num acidente grave aumentaram em 15% no começo de mês em comparação com o resto do mês.

Tabela 25 – Razões de chance (*odds ratio*) do modelo logístico de natureza temporal 1

Variável	Categorias	<i>Odds Ratio</i>	Lim. inf.	Lim. sup.
Ano	2009 vs 2008	0,77	0,59	1,00
	2010 vs 2008	0,98	0,78	1,22
	2011 vs 2008	0,88	0,70	1,11
	2012 vs 2008	0,91	0,72	1,15
	2013 vs 2008	0,91	0,72	1,15
	2014 vs 2008	1,06	0,84	1,33
	2015 vs 2008	0,94	0,74	1,19
	2016 vs 2008	1,16	0,92	1,48
	2017 vs 2008	1,44	1,12	1,85
Mes	ago vs abr	1,13	0,88	1,46
	dez vs abr	1,21	0,95	1,55
	fev vs abr	0,96	0,74	1,26
	jan vs abr	1,07	0,83	1,38
	jul vs abr	0,93	0,72	1,21
	jun vs abr	1,07	0,83	1,38
	mai vs abr	0,92	0,71	1,21
	mar vs abr	0,96	0,74	1,25
	nov vs abr	1,22	0,95	1,57
	out vs abr	1,19	0,92	1,53
set vs abr	1,06	0,82	1,37	
Comeco_Mes	Sim vs Não	1,15	1,03	1,28

A grande redução na chance de um acidente grave envolver fatalidade no ano de 2009, em comparação com 2008, decorreu (muito provavelmente) da novidade proibitiva de se dirigir ao volante após a ingestão de álcool, a chamada Lei Seca, promulgada em 19 de junho de 2008. Entretanto, como se pode constatar, ao longo da década, essa chance voltou a subir (com oscilações) e, em 2014, já voltou a ser maior que em 2008, alcançado, em 2017, seu maior patamar.

Ao longo dos meses, a chance de ocorrer fatalidade em acidentes graves alternou momentos de aumento e diminuição, não apresentando comportamento regular que permitisse uma conclusão objetiva, diferente do que ocorreu com o começo de mês, em que se viu aumento efetivo, podendo estar relacionado ao recebimento de renda dos brasileiros, conforme já comentado na seção 5.2.2.

Ao final, acrescentaram-se ao modelo interações de 1ª ordem entre as variáveis explicativas significativas ( $p < 0,05$ ), mas nenhuma se mostrou estatisticamente significativa ao nível de confiança de 0,95, alcançando, a interação mais significativa (entre Ano “2014” e Começo de Mês “Sim”),  $p = 0,1226$ .

Considerando agora que  $Y$  possa ser explicado pelas demais variáveis explicativas de natureza temporal descritas em 5.1.3, tem-se em (15) o modelo logístico de natureza temporal 2:

$$\begin{aligned} \ln \left[ \frac{\pi}{1 - \pi} \right] = \eta = & \beta_0 + \beta_1 \text{Férias} + \beta_2 \text{Dia da semana} \\ & + \beta_3 \text{Tipo de feriado} \\ & + \beta_4 \text{Fluxo no feriado} \\ & + \beta_5 \text{Fase do dia} \end{aligned} \quad (15)$$

O desvio (*deviance* residual) do modelo de natureza temporal 2 ficou em 8.697,68 com 7.971 graus de liberdade (+9,12%, indicando um ajuste adequado), e o AIC, em 8733,68 (Tabela 26).

Tabela 26 – Qualidade do modelo logístico de natureza temporal 2

Qualidade do modelo	Valor
Interações do escore de Fisher	4
<i>Deviance</i> nula	8827,315 com 7988 Graus de Liberdade
<i>Deviance</i> residual	8697,682 com 7971 Graus de Liberdade
AIC	8733,682464
Parâmetro de dispersão	1

Analisando-se a significância estatística dos parâmetros, percebeu-se que as variáveis Fase do Dia (madrugada), Fase do Dia (pleno dia), Dia da Semana (quinta-feira), Fase do Dia (plena noite) e Dia da Semana (terça-feira) apresentaram, respectivamente, as maiores significâncias estatísticas ( $p < 0,05$ ), em termos de fatalidade, ao nível de confiança de 0,95 (Tabela 27). A estimativa dos parâmetros indica que as variáveis com significância estatística ( $p < 0,05$ ) que contribuíram para a redução (valor negativo do parâmetro) de fatalidade nos acidentes graves foram Fase do Dia (pleno dia), Dia da Semana (terça-feira) e Dia da Semana (quinta-feira), enquanto as variáveis Fase do Dia (plena noite) e Fase do Dia (madrugada) contribuíram para o aumento (valor positivo do parâmetro).

Tabela 27 – Parâmetros do modelo logístico de natureza temporal 2

Variável	Estimativa	Erro padrão	Teste de Wald	Valor <i>p</i>	Lim. inf.	Lim. sup.
Intercepto	-1,06	0,09	-11,64	0,0000	-1,24	-0,88
Fase_do_diaMadrugada	0,65	0,10	6,22	0,0000	0,45	0,86
Fase_do_diaPleno dia	-0,27	0,09	-2,92	0,0035	-0,45	-0,09
Dia_da_semanaQuinta-feira	-0,30	0,10	-2,90	0,0038	-0,50	-0,10
Fase_do_diaPlena noite	0,23	0,09	2,45	0,0144	0,05	0,41
<b>Dia_da_semanaTerça-feira</b>	<b>-0,25</b>	<b>0,10</b>	<b>-2,40</b>	<b>0,0163</b>	<b>-0,45</b>	<b>-0,05</b>
Dia_da_semanaSegunda-feira	-0,17	0,10	-1,82	0,0687	-0,36	0,01
Fase_do_diaEntardecer	-0,18	0,10	-1,70	0,0888	-0,38	0,03
Dia_da_semanaSexta-feira	-0,15	0,09	-1,60	0,1096	-0,33	0,03
FeriadoFluxoRetorno	-0,32	0,23	-1,39	0,1651	-0,77	0,13
Dia_da_semanaSábado	-0,08	0,08	-1,00	0,3160	-0,25	0,08
FeriadoTipoFeriadão	0,12	0,19	0,66	0,5097	-0,24	0,49
FeriadoFluxoMeio	-0,13	0,25	-0,51	0,6116	-0,61	0,36
Dia_da_semanaQuarta-feira	-0,05	0,10	-0,49	0,6249	-0,24	0,14
Fase_do_diaAnoitecer	0,04	0,09	0,46	0,6470	-0,13	0,21
FeriadoTipoFeriadão fixo	-0,03	0,17	-0,18	0,8534	-0,37	0,31
FeriasSim	0,01	0,06	0,18	0,8553	-0,11	0,13
FeriadoTipoFeriado isolado	-0,02	0,20	-0,12	0,9006	-0,41	0,36

A chance de ocorrer fatalidade em um acidente grave diminuiu em 22% às terças-feiras e 26% às quintas-feiras em comparação aos domingos (Tabela 28). Com relação à fase do dia, viu-se que a chance de ocorrer fatalidade nos acidentes graves, em comparação com o amanhecer, aumentou em 25% ao entardecer e em 92% ao anoitecer, porém diminuiu em 23% nas madrugadas. Por fim, constatou-se que os feriados e os meses de férias escolares não contribuíram (com significância estatística) para um aumento na fatalidade dos acidentes graves.

Tabela 28 – Razões de chance (*odds ratio*) do modelo logístico de natureza temporal 2

Variável	Categorias	Odds Ratio	Lim. inf.	Lim. sup.
Férias	Sim vs Não	1,01	0,90	1,14
Dia_da_semana	Quarta-feira vs Domingo	0,95	0,79	1,15
	Quinta-feira vs Domingo	0,74	0,61	0,91
	Sábado vs Domingo	0,92	0,78	1,08
	Segunda-feira vs Domingo	0,84	0,70	1,01
	Sexta-feira vs Domingo	0,86	0,72	1,03
	Terça-feira vs Domingo	0,78	0,64	0,96
FeriadoTipo	Feriadão vs Dia comum	1,13	0,78	1,63
	Feriadão fixo vs Dia comum	0,97	0,69	1,36
	Feriado isolado vs Dia comum	0,98	0,66	1,44
FeriadoFluxo	Meio vs Dia comum	0,88	0,54	1,43
	Retorno vs Dia comum	0,73	0,46	1,14
	Saída vs Dia comum	1,04	0,88	1,24
	Sem fluxo vs Dia comum	0,84	0,69	1,03
Fase_do_dia	Anoitecer vs Amanhecer	1,92	1,56	2,35
	Entardecer vs Amanhecer	1,25	1,05	1,51
	Madrugada vs Amanhecer	0,77	0,64	0,92
	Plena noite vs Amanhecer	NA	NA	NA
	Pleno dia vs Amanhecer	NA	NA	NA

Assim, a chance de ocorrer fatalidade em acidentes graves aumentou com a chegada do entardecer e do anoitecer, porém diminuiu com a vinda da madrugada. Essa chance também aumentou às sextas-feiras, aos sábados e aos domingos, mostrando-se indiferente aos feriados e às férias escolares.

Ao final, acrescentaram-se ao modelo interações de 1ª ordem entre as variáveis explicativas significativas ( $p < 0,05$ ), e a interação entre Dia da Semana “Quarta-feira” e Fase do Dia “Madrugada” mostrou-se estatisticamente significativa ao nível de confiança de 0,95, alcançando  $p = 0,0262$ . Isso indica que a madrugada da quarta-feira contribuiu significativamente para a presença de morte nos acidentes graves ocorridos nas rodovias e

estradas federais do Ceará no período 2008-2017. Esse resultado aparentemente não está ao alcance dos dados analisados, haja vista a quarta-feira ter alcançado  $p = 0,6249$  (portanto, sem significância estatística em um intervalo de confiança de 0,95) e estimativa negativa de parâmetro ( $\beta$ ), o que contribuiria para uma diminuição na fatalidade dos acidentes graves.

### 5.3.3 Modelo logístico de natureza específica

Por fim, considerando que  $Y$  possa ser explicado pelas variáveis explicativas de natureza específica descritas em 5.1.4, tem-se em (16) o modelo logístico de natureza específica:

$$\ln \left[ \frac{\pi}{1 - \pi} \right] = \eta = \beta_0 + \beta_1 \text{Tipo} + \beta_2 \text{Causa} \quad (16)$$

O desvio (*deviance* residual) do modelo de natureza específica ficou em 8.276,60 com 7.964 graus de liberdade (+3,93%, indicando um ajuste adequado), e o AIC, em 8.326,60 (Tabela 29).

Tabela 29 – Qualidade do modelo logístico de natureza específica

Qualidade do modelo	Valor
Interações do escore de Fisher	10
<i>Deviance</i> nula	8827,315 com 7988 Graus de Liberdade
<i>Deviance</i> residual	8276,601 com 7964 Graus de Liberdade
AIC	8326,60149
Parâmetro de dispersão	1

Analisando-se o valor  $p$  dos parâmetros, notou-se que as variáveis Causa do Acidente (velocidade incompatível), Causa do Acidente (outras), Causa do Acidente (ultrapassagem indevida), Causa do Acidente (dormindo), Causa do Acidente (falta de atenção), Causa do Acidente (desobediência à sinalização), Tipo de Acidente (colisão frontal) e Causa do Acidente (ingestão de álcool) apresentaram, respectivamente, as maiores significâncias estatísticas, em termos de fatalidade, ao nível de confiança de 0,95 (Tabela 30). Dois fatos se destacaram: 1) apenas a “colisão frontal”, dentre todos os tipos de acidentes graves de trânsito, alcançou significância estatística; e 2) a “velocidade incompatível”, dentre todas as causas, foi a mais significativa em termos de fatalidade. A estimativa dos parâmetros indica que todas as

variáveis com significância estatística ( $p < 0,05$ ) contribuíram para o aumento de fatalidade nos acidentes graves, umas mais (a exemplo da causa “velocidade incompatível”), outras menos (a exemplo da causa “ingestão de álcool”).

Tabela 30 – Parâmetros do modelo logístico de natureza específica

Variável	Estimativa	Erro padrão	Teste de Wald	Valor $p$	Lim. inf.	Lim. sup.
Intercepto	-2,26	0,22	-10,33	0,0000	-2,69	-1,83
CausaVelocidade incompatível	1,79	0,39	4,55	0,0000	1,02	2,57
CausaOutras	1,36	0,36	3,78	0,0002	0,66	2,07
CausaUltrapassagem indevida	1,47	0,39	3,75	0,0002	0,70	2,24
CausaDormindo	1,21	0,41	2,95	0,0032	0,41	2,01
CausaFalta de atenção	1,00	0,36	2,74	0,0061	0,28	1,71
CausaDesobediência à sinalização	0,96	0,38	2,52	0,0117	0,21	1,71
TipoColisão frontal	0,86	0,37	2,31	0,0209	0,13	1,58
<b>CausaIngestão de álcool</b>	<b>0,83</b>	<b>0,37</b>	<b>2,24</b>	<b>0,0253</b>	<b>0,10</b>	<b>1,56</b>
CausaDefeito mecânico no veículo	0,76	0,41	1,85	0,0642	-0,04	1,56
TipoQueda de motocicleta/bicicleta/veículo	-0,65	0,38	-1,69	0,0919	-1,40	0,11
TipoColisão traseira	-0,59	0,38	-1,57	0,1155	-1,33	0,15
TipoTombamento	-0,67	0,43	-1,55	0,1207	-1,51	0,18
CausaDefeito na via	0,61	0,41	1,47	0,1409	-0,20	1,41
TipoAtropelamento de pessoa	0,52	0,37	1,40	0,1621	-0,21	1,24
TipoColisão lateral	-0,52	0,38	-1,38	0,1665	-1,26	0,22
CausaNão guardar distância de segurança	0,54	0,44	1,22	0,2241	-0,33	1,41
TipoDanos eventuais	-0,92	0,84	-1,09	0,2751	-2,56	0,73
TipoColisão transversal	-0,39	0,37	-1,04	0,3000	-1,12	0,35
TipoColisão com objeto fixo	-0,32	0,39	-0,82	0,4132	-1,10	0,45
TipoColisão com bicicleta	0,22	0,38	0,59	0,5565	-0,52	0,96
TipoSaída de pista	-0,06	0,38	-0,16	0,8719	-0,80	0,68
TipoColisão com objeto móvel	-0,04	0,50	-0,07	0,9403	-1,02	0,94
TipoDerramamento de Carga	-10,67	196,97	-0,05	0,9568	-396,72	375,38
TipoCapotamento	-0,02	0,39	-0,04	0,9663	-0,79	0,76

A chance de ocorrer fatalidade em um acidente grave foi 40% maior em uma colisão frontal quando comparada com um atropelamento de pessoa, 139% quando comparada com um

capotamento e 326% quando comparada com uma colisão traseira (Tabela 31). Já as chances de alguém morrer num acidente grave aumentaram 38% quando a causa do acidente foi velocidade incompatível em comparação à ultrapassagem indevida, 122% em comparação à falta de atenção e 161% em comparação à ingestão de álcool.

Tabela 31 – Razões de chance (*odds ratio*) do modelo logístico de natureza específica

Variável	Categorias	Odds Ratio	Lim. inf.	Lim. sup.
(continua)				
Tipo	Atropelamento de pessoa vs Atropelamento de animal	1,68	0,81	3,46
	Capotamento vs Atropelamento de animal	0,98	0,45	2,13
	Colisão com bicicleta vs Atropelamento de animal	1,25	0,60	2,61
	Colisão com objeto fixo vs Atropelamento de animal	0,72	0,33	1,57
	Colisão com objeto móvel vs Atropelamento de animal	0,96	0,36	2,56
	Colisão frontal vs Atropelamento de animal	2,35	1,14	4,87
	Colisão lateral vs Atropelamento de animal	0,59	0,28	1,24
	Colisão transversal vs Atropelamento de animal	0,68	0,33	1,41
	Colisão traseira vs Atropelamento de animal	0,55	0,26	1,16
	Danos eventuais vs Atropelamento de animal	0,40	0,08	2,08
	Derramamento de Carga vs Atropelamento de animal	2,32E-05	0	1,06E+163
	Queda de motocicleta/bicicleta/veículo vs Atropelamento de animal	0,52	0,25	1,11
	Saída de pista vs Atropelamento de animal	0,94	0,45	1,97
	Tombamento vs Atropelamento de animal	0,51	0,22	1,19
	Causa	Defeito mecânico no veículo vs Animais na pista	2,13	0,96
Defeito na via vs Animais na pista		1,83	0,82	4,11
Desobediência à sinalização vs Animais na pista		2,62	1,24	5,52
Dormindo vs Animais na pista		3,34	1,50	7,43
Falta de atenção vs Animais na pista		2,71	1,33	5,52
Ingestão de álcool vs Animais na pista		2,30	1,11	4,78
Não guardar distância de segurança vs Animais na pista		1,71	0,72	4,08
Outras vs Animais na pista		3,92	1,93	7,94
Ultrapassagem indevida vs Animais na pista		4,35	2,02	9,36

Tabela 31 – Razões de chance (*odds ratio*) do modelo logístico de natureza específica

Variável	Categorias	Odds Ratio	Lim. inf.	Lim. sup.
			(conclusão)	
	Velocidade incompatível vs Animais na pista	6,01	2,78	13,03

Assim, a chance de ocorrer fatalidade em acidentes graves aumentou diante de colisões frontais e da imprudência de motoristas na forma de “velocidade incompatível”, “ultrapassagem indevida”, “dormindo”, “falta de atenção”, “desobediência à sinalização” e “ingestão de álcool”.

Interações de 1ª ordem entre as variáveis explicativas significativas (Causa do Acidente e Tipo de Acidente) demonstraram colinearidade, a exemplo da Causa do Acidente (Animais na pista) com o Tipo de Acidente (Atropelamento de animal) e da Causa do Acidente (Falta de atenção) com os Tipos de Acidente (Colisão transversal e Atropelamento de pessoa). Para a composição do modelo logístico global a seguir, considerou-se apenas uma delas: o Tipo de Acidente, em virtude principalmente do baixo poder de explicação do registro “Outras” na Causa do Acidente.

### 5.3.4 Modelo logístico de natureza global

Por fim, considerando que  $Y$  possa ser explicado pelas variáveis explicativas significativas dos modelos logísticos anteriores (de natureza espacial, temporal e específica), tem-se em (17) o modelo logístico de natureza global:

$$\ln \left[ \frac{\pi}{1 - \pi} \right] = \eta = \beta_0 + \beta_1 \text{Urbanização} + \beta_2 \text{Traçado} \\ + \beta_3 \text{Ano} + \beta_4 \text{Começo de mês} \\ + \beta_5 \text{Dia da semana} + \beta_6 \text{Fase do dia} \\ + \beta_7 \text{Tipo do acidente} \quad (17)$$

O desvio (*deviance* residual) do modelo de natureza global ficou em 7.808,925 com 7.896 graus de liberdade (-1,10%, indicando o ajuste mais adequado de todos), e o AIC, em 7.888,92, o menor de todos (Tabela 32). Esses números demonstram que o modelo de natureza global explica melhor os dados que os modelos de natureza espacial, temporal e específica.

Tabela 32 – Qualidade do modelo logístico de natureza global

<b>Qualidade do modelo</b>	<b>Valor</b>
Interações do escore de Fisher	10
<i>Deviance</i> nula	8759,078 com 7935 Graus de Liberdade
<i>Deviance</i> residual	7808,925 com 7896 Graus de Liberdade
AIC	7888,925348
Parâmetro de dispersão	1

Analisando-se o valor  $p$  dos parâmetros, notou-se que as variáveis Local Urbanizado (rural), Local Urbanizado (urbano), Fase do Dia (madrugada), Tipo de Acidente (atropelamento de pessoa), Tipo de Acidente (colisão com bicicleta), Tipo de Acidente (colisão com objeto fixo), Tipo de Acidente (colisão frontal), Tipo de Acidente (colisão transversal), Tipo de Acidente (saída de pista), Tipo de Acidente (capotamento), Tipo de Acidente (colisão lateral), Estrutura Viária (curva), Tipo de Acidente (colisão traseira), Fase do Dia (pleno dia), Estrutura Viária (reta), Tipo de Acidente (colisão com objeto móvel), Começo de Mês (sim), Ano (2017), Tipo de Acidente (queda de motocicleta/bicicleta/veículo), Fase do Dia (entardecer) e Dia da Semana (quinta-feira) foram, respectivamente, as de maior significância estatística, ao nível de confiança de 0,95, na explicação de fatalidades em acidentes graves ocorridos nas rodovias e estradas federais no período 2008-2017 (Tabela 33). As variáveis com significância estatística ( $p < 0,05$ ) que contribuíram para a redução (valor negativo do parâmetro) de fatalidade nos acidentes graves: Fase do Dia (pleno dia), Fase do Dia (entardecer) e Dia da Semana (quinta-feira). As demais contribuíram para o aumento (valor positivo do parâmetro), a exemplo do Começo de Mês (sim), Tipo de Acidente (atropelamento de pessoa) e Local Urbanizado (rural).

Tabela 33 – Parâmetros do modelo logístico de natureza global

<b>Variável</b>	<b>Estimativa</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>Teste de Wald</b>	<b>Valor <math>p</math></b>	<b>Lim. inf.</b>	<b>Lim. sup.</b>
					(continua)	
Intercepto	-3,77	0,32	-11,72	0,0000	-4,40	-3,14
UrbanizacaoRural	1,38	0,08	17,02	0,0000	1,22	1,54
UrbanizacaoUrbano	0,76	0,07	10,44	0,0000	0,62	0,91
FaseDiaMadrugada	0,63	0,11	5,52	0,0000	0,40	0,85
TipoAtropelamento de pessoa	2,29	0,22	10,25	0,0000	1,85	2,72
TipoColisão com bicicleta	1,90	0,23	8,17	0,0000	1,45	2,36
TipoColisão com objeto fixo	1,13	0,27	4,26	0,0000	0,61	1,65
TipoColisão frontal	2,02	0,22	8,98	0,0000	1,58	2,45

Tabela 33 – Parâmetros do modelo logístico de natureza global

Variável	Estimativa	Erro padrão	Teste de Wald	Valor <i>p</i>	Lim. inf.	Lim. sup.
					(conclusão)	
TipoColisão transversal	1,05	0,23	4,59	0,0000	0,60	1,50
TipoSaída de pista	1,06	0,23	4,52	0,0000	0,60	1,52
TipoCapotamento	1,08	0,27	4,01	0,0001	0,55	1,61
TipoColisão lateral	0,89	0,23	3,80	0,0001	0,43	1,35
TracadoCurva	0,72	0,21	3,52	0,0004	0,32	1,12
TipoColisão traseira	0,81	0,23	3,46	0,0005	0,35	1,26
FaseDiaPleno dia	-0,31	0,10	-3,24	0,0012	-0,50	-0,12
TracadoReta	0,61	0,19	3,17	0,0015	0,23	0,99
TipoColisão com objeto móvel	1,20	0,41	2,90	0,0037	0,39	2,01
ComecoMesSim	0,15	0,06	2,63	0,0085	0,04	0,27
Ano2017	0,37	0,14	2,57	0,0101	0,09	0,65
TipoQueda de motocicleta/bicicleta/veículo	0,62	0,24	2,55	0,0109	0,14	1,10
FaseDiaEntardecer	-0,26	0,11	-2,36	0,0182	-0,47	-0,04
<b>DiaSemanaQuinta-feira</b>	<b>-0,23</b>	<b>0,11</b>	<b>-2,14</b>	<b>0,0321</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,02</b>
DiaSemanaTerça-feira	-0,21	0,11	-1,91	0,0558	-0,42	0,01
Ano2009	-0,26	0,14	-1,84	0,0664	-0,53	0,02
TipoTombamento	0,54	0,32	1,70	0,0891	-0,08	1,16
DiaSemanaSegunda-feira	-0,14	0,10	-1,42	0,1545	-0,34	0,05
DiaSemanaSexta-feira	-0,13	0,10	-1,33	0,1831	-0,31	0,06
FaseDiaAnoitecer	-0,13	0,10	-1,32	0,1870	-0,31	0,06
FaseDiaPlena noite	0,13	0,10	1,29	0,1972	-0,07	0,32
TipoDanos eventuais	0,93	0,81	1,16	0,2479	-0,65	2,51
Ano2013	-0,09	0,13	-0,69	0,4891	-0,34	0,16
Ano2015	-0,06	0,13	-0,49	0,6238	-0,32	0,19
DiaSemanaSábado	-0,04	0,09	-0,47	0,6392	-0,21	0,13
Ano2016	0,06	0,13	0,43	0,6657	-0,20	0,31
Ano2011	-0,05	0,13	-0,40	0,6903	-0,30	0,20
Ano2014	0,03	0,12	0,26	0,7948	-0,21	0,28
Ano2012	-0,03	0,13	-0,26	0,7974	-0,28	0,21
Ano2010	0,03	0,12	0,22	0,8231	-0,21	0,27
TipoDerramamento de Carga	-9,00	196,97	-0,05	0,9636	-395,05	377,05
DiaSemanaQuarta-feira	0,00	0,10	-0,02	0,9854	-0,20	0,20

A chance de ocorrer fatalidade em um acidente grave foi 3,99 vezes maior em solo rural do que nos grandes centros urbanos; 84% maior em retas do que nos cruzamentos; 44% maior em 2017 do que em 2008; 17% maior no começo de mês em comparação com o resto do mês; 26% maior aos domingos em comparação às quintas-feiras; 87% maior na madrugada em

relação ao amanhecer; e 31% maior nos atropelamentos de pessoas do que nas colisões frontais (Tabela 34).

Tabela 34 – Razões de chance (*odds ratio*) do modelo logístico de natureza global

Variável	Categorias	Odds Ratio	Lim. inf.	Lim. sup.
(continua)				
Urbanizacao	Rural vs GCU	3,99	3,40	4,67
	Urbano vs GCU	2,14	1,86	2,47
Tracado	Curva vs Cruzamento	2,06	1,38	3,08
	Reta vs Cruzamento	1,84	1,26	2,68
Ano	2009 vs 2008	0,77	0,59	1,02
	2010 vs 2008	1,03	0,81	1,31
	2011 vs 2008	0,95	0,74	1,22
	2012 vs 2008	0,97	0,76	1,24
	2013 vs 2008	0,92	0,72	1,17
	2014 vs 2008	1,03	0,81	1,32
	2015 vs 2008	0,94	0,72	1,21
	2016 vs 2008	1,06	0,82	1,37
	2017 vs 2008	1,44	1,09	1,91
ComecoMes	Sim vs Não	1,17	1,04	1,31
DiaSemana	Quarta-feira vs Domingo	1,00	0,82	1,22
	Quinta-feira vs Domingo	0,79	0,64	0,98
	Sábado vs Domingo	0,96	0,81	1,14
	Segunda-feira vs Domingo	0,87	0,71	1,06
	Sexta-feira vs Domingo	0,88	0,73	1,06
	Terça-feira vs Domingo	0,81	0,66	1,01
FaseDia	Anoitecer vs Amanhecer	0,88	0,73	1,06
	Entardecer vs Amanhecer	0,77	0,62	0,96
	Madrugada vs Amanhecer	1,87	1,50	2,34
	Plena noite vs Amanhecer	1,14	0,94	1,38
	Pleno dia vs Amanhecer	0,73	0,60	0,88
Tipo	Atropelamento de pessoa vs Atropelamento de animal	9,84	6,36	15,24
	Capotamento vs Atropelamento de animal	2,95	1,74	5,00
	Colisão com bicicleta vs Atropelamento de animal	6,72	4,25	10,61
	Colisão com objeto fixo vs Atropelamento de animal	3,10	1,84	5,21
	Colisão com objeto móvel vs Atropelamento de animal	3,32	1,48	7,47
	Colisão frontal vs Atropelamento de animal	7,50	4,83	11,64
	Colisão lateral vs Atropelamento de animal	2,44	1,54	3,86
	Colisão transversal vs Atropelamento de animal	2,85	1,82	4,47

Tabela 34 – Razões de chance (*odds ratio*) do modelo logístico de natureza global

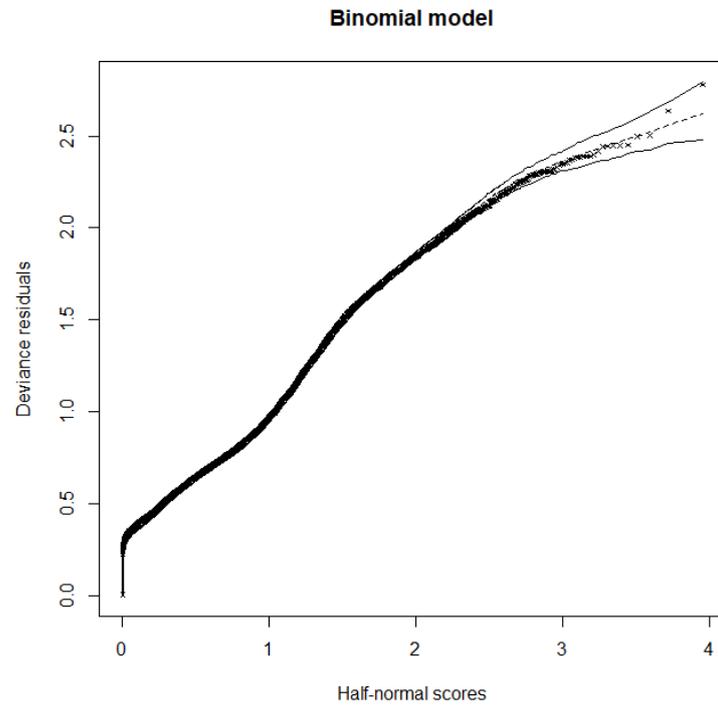
Variável	Categorias	<i>Odds Ratio</i>	Lim. inf.	Lim. sup.
			(conclusão)	
	Colisão traseira vs Atropelamento de animal	2,24	1,42	3,53
	Danos eventuais vs Atropelamento de animal	2,54	0,52	12,28
	Derramamento de Carga vs Atropelamento de animal	0,00	0	5,64E+163
	Queda de motocicleta/bicicleta/veículo vs Atropelamento de animal	1,87	1,15	3,02
	Saída de pista vs Atropelamento de animal	2,89	1,82	4,57
	Tombamento vs Atropelamento de animal	1,71	0,92	3,19

Assim, a chance de ocorrer fatalidade em acidentes graves aumentou: a) em locais menos urbanizados; b) de madrugada; c) nos traçados retos e curvilíneos; e d) no começo de mês, com o aumento da renda; porém, diminuiu: a) em pleno dia; b) ao entardecer; e c) às quintas-feiras.

Procedeu-se ainda ao acréscimo de quatro interações de 1ª ordem ao modelo logístico de natureza global: 1) entre Local Urbanizado e Começo de Mês; 2) entre Local Urbanizado e Fase do Dia; 3) entre Começo de Mês e Fase do Dia; e 4) entre Dia da Semana e Fase do Dia. Entretanto, nenhuma delas apresentou significância estatística ao nível de confiança de 0,95.

Por fim, analisou-se a aderência do modelo logístico de natureza global ao modelo binomial por meio do gráfico meio-normal com envelope simulado para os resíduos do modelo. O Apêndice D traz o *script* do Half Normal Plot (hnp) desenvolvido em R, cujo resultado confirmou o bom ajuste do modelo logístico de natureza global, demonstrando boa aderência ao modelo binomial escolhido (Figura 35). Como se percebe, não se veem pontos fora do envelope simulado, apesar das 7.989 observações (acidentes graves).

Figura 35 – Half Normal Plot (hnp) do modelo logístico de natureza global



## 6 CONCLUSÃO

A falta de dados ou sua não utilização quando disponíveis são problemas que têm sido combatidos pela PRF ano após ano com o desenvolvimento de sistemas, a exemplo do PRF Móvel, que trouxe à palma da mão do agente PRF a possibilidade de inserção de dados relativos às suas atividades, como o atendimento de acidentes, a fiscalização de condutores e a prestação de socorro ao cidadão. Nesse sentido, esta pesquisa fez uma análise dos dados de acidentes graves ocorridos nas rodovias e estradas federais do Ceará no período 2008-2017 com o intuito de contribuir para a consecução de ações e intervenções federais de caráter mais direcional, buscando, por meio da otimização de recursos humanos e materiais, aumentar a eficiência e a eficácia na redução de acidentes graves e fatais. A pesquisa buscou também evidenciar os acidentes graves e fatais em termos de variáveis do SIGER/PRF, reformulando-se algumas delas (como Local Urbanizado e Fase do Dia), uniformizando-se outras (como Local Urbanizado e Fase do Dia) e, até mesmo, criando-se novas (como Feriados e Fluxo nos Feriados), ofertando-se, ao final, resultados que podem ser utilizados como ferramenta de gestão no planejamento de ações e operações na PRF.

Analisando-se os aspectos espaciais, verificou-se que o registro da localização dos acidentes graves apresentou predominância de quilômetros inteiros, e isso prejudicou, em certa medida, a identificação precisa do local do acidente, o que deve ser corrigido. Uma das variáveis que apresentou elevada significância estatística na explicação de fatalidade nos acidentes graves foi Local Urbanizado, que indica o nível de urbanização do local do acidente. Em virtude de esta variável conter registros divergentes para uma mesma localidade, adotou-se um critério dinâmico que acompanhasse a própria evolução dos acidentes graves no tempo. Esse critério baseou-se na distribuição de frequência da frequência dos acidentes graves e definiu três níveis de urbanização (rural, urbano e grandes centros urbanos), tendo, como uma de suas grandes vantagens, a dinamicidade necessária às mudanças decorrentes do desenvolvimento econômico. A zona rural, apesar de sua menor frequência absoluta em termos de acidentes graves, foi a que mais contribuiu para fatalidades, e isso pode estar relacionado às grandes velocidades imprimidas pelos veículos nesse nível de urbanização, já que os limites de velocidades são os mais altos permitidos pelo CTB. Através do modelo logístico, viu-se que a chance de fatalidade nos acidentes graves em solo rural foi 3,9 vezes maior que em grandes centros urbanos.

Assim, o critério dinâmico Local Urbanizado traz ganhos efetivos em termos de eficiência, haja vista classificar o nível de urbanização dos trechos das rodovias e estradas

federais em função da demanda dinâmica dos acidentes graves. O mesmo poderia ser feito, por exemplo, com as ocorrências de crime, guiando esforços para a atuação estatal. Esse tipo de critério, que acompanha a migração dos acidentes e dos crimes ao longo do tempo, pode ser usado não apenas no planejamento de grandes operações, mas também na rotina da PRF como um guia de suas ações, não devendo ficar apenas ao alcance da chefia, mas de todo o efetivo a fim de sensibilizá-lo para a qualidade do registro, já que uma boa gestão passa, necessariamente, por uma boa medição dos fatos.

A pista simples, caracterizada por fluxos opostos de veículos, foi o palco da grande maioria dos acidentes graves. Entretanto, contradizendo o senso comum, não contribuiu significativamente para o aumento de fatalidade, já que proporcionalmente não apresentou grande diferença com as pistas dupla e múltipla. Já em relação à estrutura viária, as retas tiveram chances de fatalidade 84% maiores que os cruzamentos.

Analisando-se aspectos temporais, viu-se que, assim como ocorreu com o registro dos quilômetros, também houve predominância de horas inteiras no registro do momento do acidente, prejudicando sua exatidão e devendo também ser corrigido. Como a variável Fase do Dia também apresentou divergências para um mesmo momento, adotou-se um critério hierárquico híbrido que envolveu a luz do sol e a frequência de acidentes graves ao longo do dia, de modo que a fase do dia mais crítica, em termos relativos (acidentes graves/hora), foi o anoitecer, seguido do entardecer (ambas próximas da cessação da luz natural), enquanto a menos crítica foi a madrugada. Apesar deste resultado, a madrugada apresentou a maior influência (significância estatística) na ocorrência de fatalidade. Tanto a madrugada quanto a zona rural trazem muita dificuldade ao socorro de vítimas, seja porque naquela há maior ausência da polícia e de ambulâncias, seja porque nesta há grandes distâncias a serem percorridas, contribuindo sobremaneira para o aumento de fatalidade. Criar pontos de pronto atendimento de ambulâncias poderia ajudar na redução de fatalidade nas rodovias federais.

A presença de feriados fez aumentar a taxa de acidentes graves/dia, porém os feriados fixos foram os que menos contribuíram para esse incremento, podendo esse resultado estar relacionado à maior intervenção da PRF, já que a previsibilidade nesses feriados (Carnaval, Semana Santa e Corpus Christi) muito contribuiu para o planejamento e a execução das operações. Como era de se esperar, ações planejadas surtiram melhores resultados. Quanto ao fluxo nos feriados, o retorno, muitas vezes concentrado nos domingos, mostrou-se mais crítico que a saída, diluída em função da dificuldade que muitas famílias têm de viajar em dia

da semana útil (geralmente quintas ou sextas-feiras). Por fim, em termos de fatalidade, os feriados não mostraram diferenças proporcionais significativas.

Analisando-se a frota de veículos, percebeu-se que, apesar do aumento de fatalidade nos acidentes graves nos últimos anos, especialmente no ano de 2017, a taxa de acidentes graves por veículo registrado diminuiu ao longo da década. Essa conclusão é de certa forma limitada pela ausência da variável Fluxo de Veículos, a qual, se disponível, permitiria a obtenção de índices mais precisos e conclusões mais fortes. Entre 2009 e 2010, no Ceará, o número de motocicletas ultrapassou o de automóveis, e isso pode ter relação os acidentes graves e fatais. O uso de capacete, tantas vezes inobservado no interior do estado, poderia reduzir fatalidades envolvendo motocicletas, mas essa conscientização necessariamente passa pela educação dos condutores.

No ano de 2009, houve redução no número de acidentes graves, e isso pode estar intimamente relacionado à promulgação da Lei Seca no ano anterior (2008). Assim como muitas leis no Brasil, o CTB (1997) e a Lei Seca (2008) tiveram grande impacto quando lançados, porém, com o passar dos anos, seja por impunidade, seja por falta de educação, deixam de ser observados, fazendo surgir novas vítimas. Já nos anos mais recentes, especificamente nos de 2014, 2016 e 2017, houve aumento de fatalidade, ocorrendo o maior incremento no mais recente deles (2017), que teve chances de fatalidade 36% maiores que seu antecessor (2016). A cultura de beber e dirigir ainda está presente na rotina de entretenimento do brasileiro, e a fiscalização dessa prática é o que mais produz resultados imediatos, restando à educação os resultados de médio e longo prazo.

Outro resultado relevante foi a chance de morte em um acidente grave nas rodovias federais cearenses ser 17% maior no começo do mês (até o dia 10) em comparação com o restante do mês, o que demonstra maior imprudência do brasileiro quando se está com dinheiro no bolso. Em relação às férias escolares, surpreendentemente, não houve aumento de fatalidade. Nesse sentido, o aquecimento da economia decorrente do recebimento da renda “mata mais” do que as férias propriamente ditas, de modo que a ação estatal nos 10 primeiros dias do mês poderia trazer enormes ganhos em termos de redução de fatalidade.

Ainda sobre aumento nos acidentes graves e fatais, a sequência sexta-feira, sábado e domingo demonstrou os maiores índices, sendo o domingo o mais crítico deles. Esse resultado decorre do fato de o domingo atuar como um limitador do fim de semana, concentrando todo o fluxo de retorno num só dia, o que não acontece com o fluxo de saída, diluído entre a sexta-feira e o sábado. Em termos de fatalidade, a quarta-feira surgiu com chances de fatalidade

idênticas às do domingo, não se conseguindo achar justificativa razoável para tal constatação, fazendo-se necessário estudo mais aprofundado. A quinta-feira apresentou chances de fatalidade inferiores às do domingo em 21%. Apesar da importância da presença da polícia em todos os dias da semana, é no fim de semana que surgem as maiores ocorrências, de forma que um direcionamento de ações para estes dias poderia resultar em grandes resultados.

Não obstante haver no país graves problemas de infraestrutura e sinalização nas rodovias e estradas federais, a imprudência surge como a grande causadora dos acidentes graves e fatais, e isso pode estar atrelado a diversos fatores, como a impunidade, a falta de conscientização do direito coletivo, a falta de compaixão ou preocupação com o próximo, a sensação de supremacia dos mais abastados financeiramente, a ineficiência dos órgãos de trânsito em se fazer valer o CTB etc. A imprudência na forma de velocidade incompatível fez aumentar as chances de fatalidade em 129% em comparação aos acidentes provocados por desobediência à sinalização. Já a ultrapassagem indevida evidenciou chances de morte 60% maiores que a falta de atenção, mostrando que a obediência às leis de trânsito seria o caminho mais curto para uma grande melhoria nos índices de fatalidade. Os tipos de acidente com maiores parâmetros de fatalidade foram o atropelamento de pessoa (por motivo óbvio) e a colisão frontal (pelo efeito soma das velocidades dos veículos), de forma que, quando comparados com a colisão traseira, apresentaram chances de fatalidade 339% e 235% maiores, respectivamente. Tais índices poderiam ser reduzidos com a construção de passarelas e a aquisição de novos equipamentos de monitoramento da velocidade dos veículos. A elevada significância estatística da causa “outras” na explicação de fatalidade mostra a necessidade de se disponibilizar ao PRF mais opções de preenchimento no BAT, o que acabou sendo feito parcialmente em 2017.

A integração entre os diversos órgãos de segurança pública faz-se necessária e ainda tem muito a evoluir no sentido da criação de padrões e de um sistema único. Em virtude da recente intervenção militar no Rio de Janeiro, criou-se o Ministério Extraordinário da Segurança Pública (do qual faz parte a PRF), cujas ações incluem a criação de um Sistema Único de Segurança Pública que promova a integração entre seus órgãos. Espera-se que essa integração proporcione o uso inteligente de dados compartilhados, não servindo apenas para fins estatísticos, mas principalmente para fins gerenciais, com o intuito maior de evitar novas ocorrências, gerando um ganho efetivo para a sociedade. Sugere-se que os sistemas de registro de dados permitam o acesso não só aos agentes da segurança pública, mas também à sociedade. Sabe-se que a Lei de Acesso à Informação permite, desde 2011, o acesso a diversos dados e

informações de caráter público, porém o que se sugere aqui é a disponibilização prévia de dados na *internet*, sem necessidade de solicitação, para que o cidadão na sua casa ou no seu trabalho possa acompanhar as atividades desenvolvidas pela polícia, não se incluindo, por óbvio, dados pessoais, cujo sigilo é garantido por lei e pela Constituição Federal.

Esta pesquisa promoveu: a) a percepção de que as variáveis que melhor descrevem os acidentes graves (em termos de frequência absoluta) não necessariamente são as mesmas que melhor descrevem a fatalidade neles presente; b) a certeza de que um bom registro dos acidentes de trânsito, com o máximo de automação possível, é imprescindível para uma análise precisa do que está acontecendo nas rodovias e estradas federais; c) a necessidade de conscientização do policial rodoviário federal quanto à qualidade do seu registro, já que dados coletados com melhor qualidade elevam as chances de eficácia de políticas públicas intervencionistas; d) a evidência da imprudência como grande vilã dos acidentes graves e fatais, devendo ser combatida com campanhas educativas permanentes que busquem, acima de tudo, a conscientização dos condutores.

## REFERÊNCIAS

- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, Notre Dame, v. 19, n. 6, p. 717-723, 1974.
- ALI, G. A.; TAYFOUR, A. Characteristics and Prediction of Traffic Accident Casualties In Sudan Using Statistical Modeling and Artificial Neural Networks. **International Journal of Transportation Science and Technology**, v. 1, n. 4, p. 305-317, 2012.
- ALMEIDA, R. L. F. D. et al. Via, homem e veículo: fatores de risco associados à gravidade dos acidentes de trânsito. **Revista Saúde Pública**, 2013.
- ANDRADE, L. M. D. et al. Acidentes de motocicleta: características das vítimas e dos acidentes em hospital de Fortaleza – CE, Brasil. **Rev. Rene. Fortaleza**, v. 10, n. 4, p. 52-59, out./dez. 2009.
- CAMPOS, V. R.; SALGADO, R. D. S.; ROCHA, M. C. Bafômetro positivo: correlatos do comportamento de beber e dirigir na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 1, p. 51-61, jan 2013.
- CANANI, S. F.; BARRETO, S. S. M. Sonolência e acidentes automobilísticos. **J Pneumol**, v. 27, n. 2, p. 94-96, mar-abr 2001.
- CORDEIRO, G. M.; DEMÉTRIO, C. G. B. **Modelos Lineares Generalizados**. UFSM. Santa Maria/RS. 2007.
- CTB. **Lei nº 9.503 - Código de Trânsito Brasileiro**. Brasília: [s.n.], 1997.
- DAS, S.; SUN, X. Association knowledge for fatal run-off-road crashes by Multiple Correspondence Analysis. **IATSS Research**, v. 39, p. 146-155, 2016.
- DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **www.dnit.gov.br**, 2018. Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/condicoes/ce.htm>>. Acesso em: 10 maio 2018.
- GAWRYSZEWSKI, V. P. et al. Perfil dos atendimentos a acidentes de transporte terrestre por serviços de emergência em São Paulo, 2005. **Revista Saúde Pública**, v. 43, n. 2, p. 275-282, 2009.

HOSMER, D. W.; LEMESHOW, S. Applied Logistic Regression. **John Wiley**, New York, 1989.

IPEA-PRF. **Acidentes de Trânsito nas Rodovias Federais Brasileiras**. Brasília, p. 42. 2015.

MAGALHÃES, A. F. et al. Prevalência de acidentes de trânsito auto-referidos em Rio Branco, Acre. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 45, n. 4, 2011.

MELLO, M. T. D. et al. O piloto comercial e a jornada de trabalho: o tempo de jornada, o descanso e os acidentes, aspectos relacionados ao fator humano Uma revisão de literatura. **Rev. Conexão SIPAER**, v. 1, n. 1, nov. 2009.

MONTENEGRO, M. D. M. S. et al. Mortalidade de motociclistas em acidentes de transporte no Distrito Federal, 1996 a 2007. **Revista Saúde Pública**, 2011.

MORAL, R. A.; HINDE, J.; DEMÉTRIO, C. G. B. Half-Normal Plots and Overdispersed Models in R: The hnp Package. **Journal of Statistical Software**, v. 81, n. 10, November 2017.

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. M. Generalized Linear Models. **Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)**, 135, 1972. 370-384.

OLIVEIRA, L. G. D. et al. Acidentes de trânsito envolvendo motoristas de caminhão no Estado de São Paulo: prevalência e preditores. **Revista Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, n. 12, p. 3757-3767, 2016.

OLIVEIRA, N. L. B. D.; SOUSA, R. M. C. D. Risco de lesões em motociclistas nas ocorrências de trânsito. **Rev. esc. enferm. USP**, v. 46, p. 1133-1140, 2012.

OLMUS, H.; ERBAS, S. Analysis of traffic accidents caused by drivers by using Log-Linear Models. **Promet – Traffic&Transportation**, v. 24, n. 6, p. 495-504, 2012.

ONU. Organização das Nações Unidas, 2011. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/campanha/seguranca-transito/>>. Acesso em: 4 Janeiro 2017.

PAULA, G. A. **Modelos de Regressão com Apoio Computacional**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2013. 216 p. Disponível em: <[www.ime.usp.br/~giapaula](http://www.ime.usp.br/~giapaula)>.

PAULINO, C. D.; TURKMAN, M. A. A.; MURTEIRA, B. **Estatística Bayesiana**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2003.

PRF. **Plano Estratégico da Polícia Rodoviária Federal para o período 2013-2020**. Polícia Rodoviária Federal. Brasília, p. 8. 2014a.

PRF. **Portaria 407 - Circunscrição das Delegacias da Polícia Rodoviária Federal no âmbito da 16ª SRPRF/CE**. Polícia Rodoviária Federal. Brasília, p. 2. 2014b.

PRF. **Manual de Atendimento de Acidentes**. Polícia Rodoviária Federal. Brasília, p. 55. 2015.

SHINSTINE, D. S.; WULFF, S. S.; KSAIBATI, K. Factors associated with crash severity on rural roadways in Wyoming. **Journal of traffic and transportation engineering**, v. 3, n. 4, p. 308-323, 2016.

SHRESTHA, P. P.; SHRESTHA, K. J. Factors associated with crash severities in built-up areas along rural highways of Nevada: A case study of 11 towns. **Journal of traffic and transportation engineering**, v. 1, n. 4, p. 96-102, 2017.

SIGER/PRF. **Sistema de Informações Gerenciais da Polícia Rodoviária Federal**, 2018. Disponível em: <<https://www.prf.gov.br/siger2/servlet/mstrWeb>>. Acesso em: 16 julho 2018.

SOUZA, J. C.; PAIVA, T.; REIMÃO, R. Sono, qualidade de vida e acidentes em caminhoneiros brasileiros e portugueses. **Psicologia em Estudo**, v. 13, n. 3, p. 429-436, 2008.

SULISTIO, H. Effect of Traffic Flow, Proportion of Motorcycle, Speed, Lane Width, and the Availabilities of Median and Shoulder on Motorcycle Accidents at Urban Roads in Indonesia. **The Open Transportation Journal**, v. 12, 2018.

TAKAGI, T.; SUGENO, M. Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control. **Ieee Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. SMC-15, n. 1, p. 116-132, January/February 1985.

**APÊNDICE A – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DA FREQUÊNCIA DE ACIDENTES  
GRAVES POR TRECHOS DE UM QUILOMETRO NAS BRS DO CEARÁ NO PERÍODO  
2008-2017**

<b>BR</b>	<b>Frequência de acidentes graves</b>	<b>Frequência da frequência</b>
		(continua)
116	0	114
116	1	110
116	2	84
116	3	77
116	4	34
116	5	25
116	6	19
116	7	8
116	8	7
116	9	10
116	10	11
116	11	4
116	12	1
116	13	4
116	14	3
116	15	2
116	16	2
116	17	3
116	19	4
116	20	2
116	21	2
116	22	2
116	24	1
116	25	1
116	26	3
116	27	1
116	28	1
116	31	1
116	33	1
116	34	1
116	35	1
116	37	2
116	39	2
116	40	1
116	46	2
116	51	2
116	54	1
116	58	1
116	66	1
116	69	1
116	71	2
116	75	1

<b>BR</b>	<b>Frequência de acidentes graves</b>	<b>Frequência da frequência</b> (continuação)
116	82	1
116	86	1
116	159	1
116	Subtotal	558
222	0	48
222	1	48
222	2	64
222	3	37
222	4	28
222	5	25
222	6	14
222	7	19
222	8	12
222	9	7
222	10	4
222	11	12
222	12	6
222	13	5
222	14	2
222	15	3
222	16	4
222	17	1
222	18	2
222	19	4
222	20	1
222	25	2
222	28	2
222	37	1
222	44	1
222	66	1
222	75	1
222	79	1
222	93	1
222	102	1
222	125	1
222	135	1
222	154	1
222	168	1
222	204	1
222	222	1
222	Subtotal	363
020	0	156
020	1	98
020	2	38
020	3	27
020	4	15
020	5	14
020	6	10

<b>BR</b>	<b>Frequência de acidentes graves</b>	<b>Frequência da frequência (conclusão)</b>
020	7	14
020	8	5
020	9	8
020	10	2
020	11	4
020	12	5
020	13	3
020	14	3
020	15	5
020	16	2
020	17	2
020	19	1
020	20	1
020	21	4
020	22	2
020	23	3
020	24	1
020	25	1
020	26	2
020	29	1
020	30	2
020	31	1
020	34	1
020	39	1
020	42	1
020	Subtotal	433
Todas	Total	1.354

Fonte: SIGER/PRF (2018).

## APÊNDICE B – SCRIPT DO MODELO TSK

```

rm(list=ls())
## INFERÊNCIA FUZZY DO TIPO TAKAGI-SUGENO-KANG (TSK)
## LEITURA DOS DADOS
dados = read.table("Mistura.txt")
x = dados[,1];x
y = dados[,2];y
## VISUALIZAÇÃO DOS DADOS
plot(x,y)
### FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA
mu_gauss = function(x,mu,sigma){dnorm(x, mean = mu, sd = sigma)/dnorm(mu, mean = mu,
sd = sigma)}
## DEFINIÇÃO DOS TERMOS
s = 4 # DISPERSÃO
mu_x_A = mu_gauss(x,1,s)
mu_x_B = mu_gauss(x,10,s)
mu_x_C = mu_gauss(x,18,s)
mu_x_D = mu_gauss(x,26,s)
mu_x_E = mu_gauss(x,33,s)
mu_x_F = mu_gauss(x,86,s)
## PERTINÊNCIA DOS TERMOS
plot(x,mu_x_A,type="l",col=1,lwd=2,main="Pertinência da Variável de
Entrada",ylab="Pertinência",xlab="Frequência dos acidentes graves")
lines(x,mu_x_B,col=2,lwd=2)
lines(x,mu_x_C,col=3,lwd=2)
lines(x,mu_x_D,col=4,lwd=2)
lines(x,mu_x_E,col=5,lwd=2)
lines(x,mu_x_F,col=6,lwd=2)
legend("right",legend=c("x é A","x é B","x é C","x é D","x é E","x é
F"),fill=c(1,2,3,4,5,6),bty="n")
## DEFINIÇÃO DAS REGRAS (TERMOS)
# REGRA_1: Se x é "A", então y = Beta0_A + Beta1_A*x

```

```

# REGRA_2: Se x é "B", então y = Beta0_B + Beta1_B*x
# REGRA_3: Se x é "C", então y = Beta0_C + Beta1_C*x
# REGRA_4: Se x é "D", então y = Beta0_D + Beta1_D*x
# REGRA_5: Se x é "E", então y = Beta0_E + Beta1_E*x
# REGRA_6: Se x é "F", então y = Beta0_F + Beta1_F*x
# O valor da regra é a própria pertinência do antecedente.
## PERTINÊNCIAS NORMALIZADAS (FUNÇÕES BASE FUZZY)
alpha_1 = NA
alpha_2 = NA
alpha_3 = NA
alpha_4 = NA
alpha_5 = NA
alpha_6 = NA
for(i in 1:length(x)){
  alpha_1[i] = mu_x_A[i]/(mu_x_A[i] + mu_x_B[i] + mu_x_C[i] + mu_x_D[i] + mu_x_E[i] +
mu_x_F[i])
  alpha_2[i] = mu_x_B[i]/(mu_x_A[i] + mu_x_B[i] + mu_x_C[i] + mu_x_D[i] + mu_x_E[i] +
mu_x_F[i])
  alpha_3[i] = mu_x_C[i]/(mu_x_A[i] + mu_x_B[i] + mu_x_C[i] + mu_x_D[i] + mu_x_E[i] +
mu_x_F[i])
  alpha_4[i] = mu_x_D[i]/(mu_x_A[i] + mu_x_B[i] + mu_x_C[i] + mu_x_D[i] + mu_x_E[i] +
mu_x_F[i])
  alpha_5[i] = mu_x_E[i]/(mu_x_A[i] + mu_x_B[i] + mu_x_C[i] + mu_x_D[i] + mu_x_E[i] +
mu_x_F[i])
  alpha_6[i] = mu_x_F[i]/(mu_x_A[i] + mu_x_B[i] + mu_x_C[i] + mu_x_D[i] + mu_x_E[i] +
mu_x_F[i])
}
## MATRIZ PARA ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS
A = cbind(alpha_1, alpha_1*x, alpha_2, alpha_2*x, alpha_3, alpha_3*x, alpha_4, alpha_4*x,
alpha_5, alpha_5*x, alpha_6, alpha_6*x)
## ESTIMAÇÃO DOS BETAS USANDO PSEUDO-INVERSA
# ginv(A)=(A'A)^(-1)(A')
# Betas = ginv(A)##*#y

```

```
require(MASS)
Betas=ginv(A)%*%y
Betas
## SAÍDAS DO SISTEMA (VALORES ESTIMADOS)
y_est = A%*%Betas
plot(x,y,main="Inferência Fuzzy do tipo TSK",xlab="Frequência dos acidentes graves",ylab="Frequência da frequência dos acidentes",col=1)
lines(x,y_est,col=2,lwd=2)
```

### APÊNDICE C – RELAÇÃO DE FERIADOS

<b>Data</b>	<b>Feriado</b>	<b>Tipo de Feriado</b>	<b>Dia da Semana</b>	<b>Fluxo</b>
				(continua)
01/01/2008	Confraternização Universal	Feriado isolado	Terça-feira	Sem fluxo
01/02/2008	Carnaval	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
02/02/2008	Carnaval	Feriadão fixo	Sábado	Saída
03/02/2008	Carnaval	Feriadão fixo	Domingo	Meio
04/02/2008	Carnaval	Feriadão fixo	Segunda-feira	Meio
05/02/2008	Carnaval	Feriadão fixo	Terça-feira	Retorno
06/02/2008	Carnaval	Feriadão fixo	Quarta-feira	Retorno
19/03/2008	São José	Feriado isolado	Quarta-feira	Sem fluxo
20/03/2008	Semana Santa	Feriadão fixo	Quinta-feira	Saída
21/03/2008	Semana Santa	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
22/03/2008	Semana Santa	Feriadão fixo	Sábado	Meio
23/03/2008	Semana Santa	Feriadão fixo	Domingo	Retorno
19/04/2008	Tiradentes	Feriadão	Sábado	Saída
20/04/2008	Tiradentes	Feriadão	Domingo	Meio
21/04/2008	Tiradentes	Feriadão	Segunda-feira	Retorno
01/05/2008	Dia do Trabalho	Feriado isolado	Quinta-feira	Sem fluxo
22/05/2008	Corpus Christi	Feriadão fixo	Quinta-feira	Saída
23/05/2008	Corpus Christi	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
24/05/2008	Corpus Christi	Feriadão fixo	Sábado	Meio
25/05/2008	Corpus Christi	Feriadão fixo	Domingo	Retorno
07/09/2008	Independência do Brasil	Feriado isolado	Domingo	Sem fluxo
12/10/2008	Nossa Senhora Aparecida	Feriado isolado	Domingo	Sem fluxo
02/11/2008	Finados	Feriado isolado	Domingo	Sem fluxo
15/11/2008	Proclamação da República	Feriadão	Sábado	Saída
16/11/2008	Proclamação da República	Feriadão	Domingo	Retorno
25/12/2008	Natal	Feriado isolado	Quinta-feira	Sem fluxo
01/01/2009	Confraternização Universal	Feriado isolado	Quinta-feira	Sem fluxo
20/02/2009	Carnaval	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
21/02/2009	Carnaval	Feriadão fixo	Sábado	Saída
22/02/2009	Carnaval	Feriadão fixo	Domingo	Meio
23/02/2009	Carnaval	Feriadão fixo	Segunda-feira	Meio
24/02/2009	Carnaval	Feriadão fixo	Terça-feira	Retorno
25/02/2009	Carnaval	Feriadão fixo	Quarta-feira	Retorno
19/03/2009	São José	Feriado isolado	Quinta-feira	Sem fluxo
09/04/2009	Semana Santa	Feriadão fixo	Quinta-feira	Saída
10/04/2009	Semana Santa	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
11/04/2009	Semana Santa	Feriadão fixo	Sábado	Meio
12/04/2009	Semana Santa	Feriadão fixo	Domingo	Retorno
21/04/2009	Tiradentes	Feriado isolado	Terça-feira	Sem fluxo
01/05/2009	Dia do Trabalho	Feriadão	Sexta-feira	Saída
02/05/2009	Dia do Trabalho	Feriadão	Sábado	Meio

<b>Data</b>	<b>Feriado</b>	<b>Tipo de Feriado</b>	<b>Dia da Semana</b>	<b>Fluxo</b>
				(continuação)
03/05/2009	Dia do Trabalho	Feriadão	Domingo	Retorno
11/06/2009	Corpus Christi	Feriadão fixo	Quinta-feira	Saída
12/06/2009	Corpus Christi	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
13/06/2009	Corpus Christi	Feriadão fixo	Sábado	Meio
14/06/2009	Corpus Christi	Feriadão fixo	Domingo	Retorno
05/09/2009	Independência do Brasil	Feriadão	Sábado	Saída
06/09/2009	Independência do Brasil	Feriadão	Domingo	Meio
07/09/2009	Independência do Brasil	Feriadão	Segunda-feira	Retorno
10/10/2009	Nossa Senhora Aparecida	Feriadão	Sábado	Saída
11/10/2009	Nossa Senhora Aparecida	Feriadão	Domingo	Meio
12/10/2009	Nossa Senhora Aparecida	Feriadão	Segunda-feira	Retorno
31/10/2009	Finados	Feriadão	Sábado	Saída
01/11/2009	Finados	Feriadão	Domingo	Meio
02/11/2009	Finados	Feriadão	Segunda-feira	Retorno
15/11/2009	Proclamação da República	Feriado isolado	Domingo	Sem fluxo
25/12/2009	Natal	Feriadão	Sexta-feira	Saída
26/12/2009	Natal	Feriadão	Sábado	Meio
27/12/2009	Natal	Feriadão	Domingo	Retorno
01/01/2010	Confraternização Universal	Feriadão	Sexta-feira	Saída
02/01/2010	Confraternização Universal	Feriadão	Sábado	Meio
03/01/2010	Confraternização Universal	Feriadão	Domingo	Retorno
12/02/2010	Carnaval	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
13/02/2010	Carnaval	Feriadão fixo	Sábado	Saída
14/02/2010	Carnaval	Feriadão fixo	Domingo	Meio
15/02/2010	Carnaval	Feriadão fixo	Segunda-feira	Meio
16/02/2010	Carnaval	Feriadão fixo	Terça-feira	Retorno
17/02/2010	Carnaval	Feriadão fixo	Quarta-feira	Retorno
19/03/2010	São José	Feriadão	Sexta-feira	Saída
20/03/2010	São José	Feriadão	Sábado	Meio
21/03/2010	São José	Feriadão	Domingo	Retorno
01/04/2010	Semana Santa	Feriadão fixo	Quinta-feira	Saída
02/04/2010	Semana Santa	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
03/04/2010	Semana Santa	Feriadão fixo	Sábado	Meio
04/04/2010	Semana Santa	Feriadão fixo	Domingo	Retorno
21/04/2010	Tiradentes	Feriado isolado	Quarta-feira	Sem fluxo
01/05/2010	Dia do Trabalho	Feriadão	Sábado	Saída
02/05/2010	Dia do Trabalho	Feriadão	Domingo	Retorno
03/06/2010	Corpus Christi	Feriadão fixo	Quinta-feira	Saída
04/06/2010	Corpus Christi	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
05/06/2010	Corpus Christi	Feriadão fixo	Sábado	Meio
06/06/2010	Corpus Christi	Feriadão fixo	Domingo	Retorno
07/09/2010	Independência do Brasil	Feriado isolado	Terça-feira	Sem fluxo
12/10/2010	Nossa Senhora Aparecida	Feriado isolado	Terça-feira	Sem fluxo
02/11/2010	Finados	Feriado isolado	Terça-feira	Sem fluxo

<b>Data</b>	<b>Feriado</b>	<b>Tipo de Feriado</b>	<b>Dia da Semana</b>	<b>Fluxo</b>
				(continuação)
13/11/2010	Proclamação da República	Feriadão	Sábado	Saída
14/11/2010	Proclamação da República	Feriadão	Domingo	Meio
15/11/2010	Proclamação da República	Feriadão	Segunda-feira	Retorno
25/12/2010	Natal	Feriadão	Sábado	Saída
26/12/2010	Natal	Feriadão	Domingo	Retorno
01/01/2011	Confraternização Universal	Feriadão	Sábado	Saída
02/01/2011	Confraternização Universal	Feriadão	Domingo	Retorno
04/03/2011	Carnaval	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
05/03/2011	Carnaval	Feriadão fixo	Sábado	Saída
06/03/2011	Carnaval	Feriadão fixo	Domingo	Meio
07/03/2011	Carnaval	Feriadão fixo	Segunda-feira	Meio
08/03/2011	Carnaval	Feriadão fixo	Terça-feira	Retorno
09/03/2011	Carnaval	Feriadão fixo	Quarta-feira	Retorno
19/03/2011	São José	Feriadão	Sábado	Saída
20/03/2011	São José	Feriadão	Domingo	Retorno
21/04/2011	Semana Santa	Feriadão fixo	Quinta-feira	Saída
22/04/2011	Semana Santa	Feriadão fixo	Sexta-feira	Meio
23/04/2011	Semana Santa	Feriadão fixo	Sábado	Meio
24/04/2011	Semana Santa	Feriadão fixo	Domingo	Retorno
01/05/2011	Dia do Trabalho	Feriado isolado	Domingo	Sem fluxo
23/06/2011	Corpus Christi	Feriadão fixo	Quinta-feira	Saída
24/06/2011	Corpus Christi	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
25/06/2011	Corpus Christi	Feriadão fixo	Sábado	Meio
26/06/2011	Corpus Christi	Feriadão fixo	Domingo	Retorno
07/09/2011	Independência do Brasil	Feriado isolado	Quarta-feira	Sem fluxo
12/10/2011	Nossa Senhora Aparecida	Feriado isolado	Quarta-feira	Sem fluxo
02/11/2011	Finados	Feriado isolado	Quarta-feira	Sem fluxo
15/11/2011	Proclamação da República	Feriado isolado	Terça-feira	Sem fluxo
25/12/2011	Natal	Feriado isolado	Domingo	Sem fluxo
01/01/2012	Confraternização Universal	Feriado isolado	Domingo	Sem fluxo
17/02/2012	Carnaval	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
18/02/2012	Carnaval	Feriadão fixo	Sábado	Saída
19/02/2012	Carnaval	Feriadão fixo	Domingo	Meio
20/02/2012	Carnaval	Feriadão fixo	Segunda-feira	Meio
21/02/2012	Carnaval	Feriadão fixo	Terça-feira	Retorno
22/02/2012	Carnaval	Feriadão fixo	Quarta-feira	Retorno
17/03/2012	São José	Feriadão	Sábado	Saída
18/03/2012	São José	Feriadão	Domingo	Meio
19/03/2012	São José	Feriadão	Segunda-feira	Retorno
05/04/2012	Semana Santa	Feriadão fixo	Quinta-feira	Saída
06/04/2012	Semana Santa	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
07/04/2012	Semana Santa	Feriadão fixo	Sábado	Meio
08/04/2012	Semana Santa	Feriadão fixo	Domingo	Retorno
21/04/2012	Tiradentes	Feriadão	Sábado	Saída

<b>Data</b>	<b>Feriado</b>	<b>Tipo de Feriado</b>	<b>Dia da Semana</b>	<b>Fluxo</b>
				(continuação)
22/04/2012	Tiradentes	Feriadão	Domingo	Retorno
01/05/2012	Dia do Trabalho	Feriado isolado	Terça-feira	Sem fluxo
07/06/2012	Corpus Christi	Feriadão fixo	Quinta-feira	Saída
08/06/2012	Corpus Christi	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
09/06/2012	Corpus Christi	Feriadão fixo	Sábado	Meio
10/06/2012	Corpus Christi	Feriadão fixo	Domingo	Retorno
07/09/2012	Independência do Brasil	Feriadão	Sexta-feira	Saída
08/09/2012	Independência do Brasil	Feriadão	Sábado	Meio
09/09/2012	Independência do Brasil	Feriadão	Domingo	Retorno
12/10/2012	Nossa Senhora Aparecida	Feriadão	Sexta-feira	Saída
13/10/2012	Nossa Senhora Aparecida	Feriadão	Sábado	Meio
14/10/2012	Nossa Senhora Aparecida	Feriadão	Domingo	Retorno
02/11/2012	Finados	Feriadão	Sexta-feira	Saída
03/11/2012	Finados	Feriadão	Sábado	Meio
04/11/2012	Finados	Feriadão	Domingo	Retorno
15/11/2012	Proclamação da República	Feriado isolado	Quinta-feira	Sem fluxo
25/12/2012	Natal	Feriado isolado	Terça-feira	Sem fluxo
01/01/2013	Confraternização Universal	Feriado isolado	Terça-feira	Sem fluxo
08/02/2013	Carnaval	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
09/02/2013	Carnaval	Feriadão fixo	Sábado	Saída
10/02/2013	Carnaval	Feriadão fixo	Domingo	Meio
11/02/2013	Carnaval	Feriadão fixo	Segunda-feira	Meio
12/02/2013	Carnaval	Feriadão fixo	Terça-feira	Retorno
13/02/2013	Carnaval	Feriadão fixo	Quarta-feira	Retorno
19/03/2013	São José	Feriado isolado	Terça-feira	Sem fluxo
28/03/2013	Semana Santa	Feriadão fixo	Quinta-feira	Saída
29/03/2013	Semana Santa	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
30/03/2013	Semana Santa	Feriadão fixo	Sábado	Meio
31/03/2013	Semana Santa	Feriadão fixo	Domingo	Retorno
21/04/2013	Tiradentes	Feriado isolado	Domingo	Sem fluxo
01/05/2013	Dia do Trabalho	Feriado isolado	Quarta-feira	Sem fluxo
30/05/2013	Corpus Christi	Feriadão fixo	Quinta-feira	Saída
31/05/2013	Corpus Christi	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
01/06/2013	Corpus Christi	Feriadão fixo	Sábado	Meio
02/06/2013	Corpus Christi	Feriadão fixo	Domingo	Retorno
07/09/2013	Independência do Brasil	Feriadão	Sábado	Saída
08/09/2013	Independência do Brasil	Feriadão	Domingo	Retorno
12/10/2013	Nossa Senhora Aparecida	Feriadão	Sábado	Saída
13/10/2013	Nossa Senhora Aparecida	Feriadão	Domingo	Retorno
02/11/2013	Finados	Feriadão	Sábado	Saída
03/11/2013	Finados	Feriadão	Domingo	Retorno
15/11/2013	Proclamação da República	Feriadão	Sexta-feira	Saída
16/11/2013	Proclamação da República	Feriadão	Sábado	Meio
17/11/2013	Proclamação da República	Feriadão	Domingo	Retorno

<b>Data</b>	<b>Feriado</b>	<b>Tipo de Feriado</b>	<b>Dia da Semana</b>	<b>Fluxo</b>
				(continuação)
25/12/2013	Natal	Feriado isolado	Quarta-feira	Sem fluxo
01/01/2014	Confraternização Universal	Feriado isolado	Quarta-feira	Sem fluxo
28/02/2014	Carnaval	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
01/03/2014	Carnaval	Feriadão fixo	Sábado	Saída
02/03/2014	Carnaval	Feriadão fixo	Domingo	Meio
03/03/2014	Carnaval	Feriadão fixo	Segunda-feira	Meio
04/03/2014	Carnaval	Feriadão fixo	Terça-feira	Retorno
05/03/2014	Carnaval	Feriadão fixo	Quarta-feira	Retorno
19/03/2014	São José	Feriado isolado	Quarta-feira	Sem fluxo
17/04/2014	Semana Santa	Feriadão fixo	Quinta-feira	Saída
18/04/2014	Semana Santa	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
19/04/2014	Semana Santa	Feriadão fixo	Sábado	Meio
20/04/2014	Semana Santa	Feriadão fixo	Domingo	Meio
21/04/2014	Semana Santa	Feriadão fixo	Segunda-feira	Retorno
01/05/2014	Dia do Trabalho	Feriado isolado	Quinta-feira	Sem fluxo
19/06/2014	Corpus Christi	Feriadão fixo	Quinta-feira	Saída
20/06/2014	Corpus Christi	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
21/06/2014	Corpus Christi	Feriadão fixo	Sábado	Meio
22/06/2014	Corpus Christi	Feriadão fixo	Domingo	Retorno
07/09/2014	Independência do Brasil	Feriado isolado	Domingo	Sem fluxo
12/10/2014	Nossa Senhora Aparecida	Feriado isolado	Domingo	Sem fluxo
02/11/2014	Finados	Feriado isolado	Domingo	Sem fluxo
15/11/2014	Proclamação da República	Feriadão	Sábado	Saída
16/11/2014	Proclamação da República	Feriadão	Domingo	Retorno
25/12/2014	Natal	Feriado isolado	Quinta-feira	Sem fluxo
01/01/2015	Confraternização Universal	Feriado isolado	Quinta-feira	Sem fluxo
13/02/2015	Carnaval	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
14/02/2015	Carnaval	Feriadão fixo	Sábado	Saída
15/02/2015	Carnaval	Feriadão fixo	Domingo	Meio
16/02/2015	Carnaval	Feriadão fixo	Segunda-feira	Meio
17/02/2015	Carnaval	Feriadão fixo	Terça-feira	Retorno
18/02/2015	Carnaval	Feriadão fixo	Quarta-feira	Retorno
19/03/2015	São José	Feriado isolado	Quinta-feira	Sem fluxo
02/04/2015	Semana Santa	Feriadão fixo	Quinta-feira	Saída
03/04/2015	Semana Santa	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
04/04/2015	Semana Santa	Feriadão fixo	Sábado	Meio
05/04/2015	Semana Santa	Feriadão fixo	Domingo	Retorno
21/04/2015	Tiradentes	Feriado isolado	Terça-feira	Sem fluxo
01/05/2015	Dia do Trabalho	Feriadão	Sexta-feira	Saída
02/05/2015	Dia do Trabalho	Feriadão	Sábado	Meio
03/05/2015	Dia do Trabalho	Feriadão	Domingo	Retorno
04/06/2015	Corpus Christi	Feriadão fixo	Quinta-feira	Saída
05/06/2015	Corpus Christi	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
06/06/2015	Corpus Christi	Feriadão fixo	Sábado	Meio

<b>Data</b>	<b>Feriado</b>	<b>Tipo de Feriado</b>	<b>Dia da Semana</b>	<b>Fluxo</b>
				(continuação)
07/06/2015	Corpus Christi	Feriadão fixo	Domingo	Retorno
05/09/2015	Independência do Brasil	Feriadão	Sábado	Saída
06/09/2015	Independência do Brasil	Feriadão	Domingo	Meio
07/09/2015	Independência do Brasil	Feriadão	Segunda-feira	Retorno
10/10/2015	Nossa Senhora Aparecida	Feriadão	Sábado	Saída
11/10/2015	Nossa Senhora Aparecida	Feriadão	Domingo	Meio
12/10/2015	Nossa Senhora Aparecida	Feriadão	Segunda-feira	Retorno
31/10/2015	Finados	Feriadão	Sábado	Saída
01/11/2015	Finados	Feriadão	Domingo	Meio
02/11/2015	Finados	Feriadão	Segunda-feira	Retorno
15/11/2015	Proclamação da República	Feriado isolado	Domingo	Sem fluxo
25/12/2015	Natal	Feriadão	Sexta-feira	Saída
26/12/2015	Natal	Feriadão	Sábado	Meio
27/12/2015	Natal	Feriadão	Domingo	Retorno
01/01/2016	Confraternização Universal	Feriadão	Sexta-feira	Saída
02/01/2016	Confraternização Universal	Feriadão	Sábado	Meio
03/01/2016	Confraternização Universal	Feriadão	Domingo	Retorno
05/02/2016	Carnaval	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
06/02/2016	Carnaval	Feriadão fixo	Sábado	Saída
07/02/2016	Carnaval	Feriadão fixo	Domingo	Meio
08/02/2016	Carnaval	Feriadão fixo	Segunda-feira	Meio
09/02/2016	Carnaval	Feriadão fixo	Terça-feira	Retorno
10/02/2016	Carnaval	Feriadão fixo	Quarta-feira	Retorno
19/03/2016	São José	Feriadão	Sábado	Saída
20/03/2016	São José	Feriadão	Domingo	Retorno
24/03/2016	Semana Santa	Feriadão fixo	Quinta-feira	Saída
25/03/2016	Semana Santa	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
26/03/2016	Semana Santa	Feriadão fixo	Sábado	Meio
27/03/2016	Semana Santa	Feriadão fixo	Domingo	Retorno
21/04/2016	Tiradentes	Feriado isolado	Quinta-feira	Sem fluxo
01/05/2016	Dia do Trabalho	Feriado isolado	Domingo	Sem fluxo
26/05/2016	Corpus Christi	Feriadão fixo	Quinta-feira	Saída
27/05/2016	Corpus Christi	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
28/05/2016	Corpus Christi	Feriadão fixo	Sábado	Meio
29/05/2016	Corpus Christi	Feriadão fixo	Domingo	Retorno
07/09/2016	Independência do Brasil	Feriado isolado	Quarta-feira	Sem fluxo
12/10/2016	Nossa Senhora Aparecida	Feriado isolado	Quarta-feira	Sem fluxo
02/11/2016	Finados	Feriado isolado	Quarta-feira	Sem fluxo
15/11/2016	Proclamação da República	Feriado isolado	Terça-feira	Sem fluxo
25/12/2016	Natal	Feriado isolado	Domingo	Sem fluxo
01/01/2017	Confraternização Universal	Feriado isolado	Domingo	Sem fluxo
24/02/2017	Carnaval	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
25/02/2017	Carnaval	Feriadão fixo	Sábado	Saída
26/02/2017	Carnaval	Feriadão fixo	Domingo	Meio

<b>Data</b>	<b>Feriado</b>	<b>Tipo de Feriado</b>	<b>Dia da Semana</b>	<b>Fluxo</b> (conclusão)
27/02/2017	Carnaval	Feriadão fixo	Segunda-feira	Meio
28/02/2017	Carnaval	Feriadão fixo	Terça-feira	Retorno
01/03/2017	Carnaval	Feriadão fixo	Quarta-feira	Retorno
19/03/2017	São José	Feriado isolado	Domingo	Sem fluxo
13/04/2017	Semana Santa	Feriadão fixo	Quinta-feira	Saída
14/04/2017	Semana Santa	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
15/04/2017	Semana Santa	Feriadão fixo	Sábado	Meio
16/04/2017	Semana Santa	Feriadão fixo	Domingo	Retorno
21/04/2017	Tiradentes	Feriadão	Sexta-feira	Saída
22/04/2017	Tiradentes	Feriadão	Sábado	Meio
23/04/2017	Tiradentes	Feriadão	Domingo	Retorno
29/04/2017	Dia do Trabalho	Feriadão	Sábado	Saída
30/04/2017	Dia do Trabalho	Feriadão	Domingo	Meio
01/05/2017	Dia do Trabalho	Feriadão	Segunda-feira	Retorno
15/06/2017	Corpus Christi	Feriadão fixo	Quinta-feira	Saída
16/06/2017	Corpus Christi	Feriadão fixo	Sexta-feira	Saída
17/06/2017	Corpus Christi	Feriadão fixo	Sábado	Meio
18/06/2017	Corpus Christi	Feriadão fixo	Domingo	Retorno
07/09/2017	Independência do Brasil	Feriado isolado	Quinta-feira	Sem fluxo
12/10/2017	Nossa Senhora Aparecida	Feriado isolado	Quinta-feira	Sem fluxo
02/11/2017	Finados	Feriado isolado	Quinta-feira	Sem fluxo
15/11/2017	Proclamação da República	Feriado isolado	Quarta-feira	Sem fluxo
23/12/2017	Natal	Feriadão	Sábado	Saída
24/12/2017	Natal	Feriadão	Domingo	Meio
25/12/2017	Natal	Feriadão	Segunda-feira	Retorno
30/12/2017	Confraternização Universal	Feriadão	Sábado	Saída
31/12/2017	Confraternização Universal	Feriadão	Domingo	Meio

Fonte: Elaborada pelo autor.

**APÊNDICE D – SCRIPT DO HALF NORMAL PLOT (HNP)**

```
library("hnp")
global = read.table("Global.txt")
m = global[,1]
y = global[,2]
urbanizacao = global[,3]
tracado = global[,4]
ano = global[,5]
comecodemes = global[,6]
diadasemana = global[,7]
fasedodia = global[,8]
tipoacidente = global[,9]
fit1_b <- glm(cbind(y, m - y) ~ urbanizacao + tracado + ano + comecodemes + diadasemana +
fasedodia + tipoacidente, family = binomial, data = global)
anova(fit1_b, test = "Chisq")
```