

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS**  
**DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA**

**LEONARDO JUNIO BORGES DA SILVA**

**MODELAGEM DO NÚMERO DE FERIDOS E DE ACIDENTES DE  
TRÂNSITO NAS RODOVIAS FEDERAIS PARA O TRIÊNIO 2021-2023:**  
direcionamento para as campanhas educativas da Polícia Rodoviária Federal para  
redução do número de feridos e de acidentes nas rodovias federais

**BELO HORIZONTE**

**2022**

**LEONARDO JUNIO BORGES DA SILVA**

**MODELAGEM DO NÚMERO DE FERIDOS E DE ACIDENTES DE  
TRÂNSITO NAS RODOVIAS FEDERAIS PARA O TRIÊNIO 2021-2023:**  
direcionamento para as campanhas educativas da Polícia Rodoviária Federal para  
redução do número de feridos e de acidentes nas rodovias federais

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Departamento de  
Estatística da Universidade Federal de  
Minas Gerais como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
Ciências Atuariais.

Orientadora: Jussiane Nader Gonçalves

**BELO HORIZONTE**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família pelo apoio e compreensão irrestritos nesta jornada, em especial nos vários momentos em que direta ou indiretamente, em função das obrigações com os estudos, privei-os de algum lazer.

À Professora Jussiane Nader Gonçalves, por ter aceito meu convite para orientar-me neste trabalho final do curso e, especialmente, pela sua atenção, compromisso, paciência e direcionamento, fatores indispensáveis à conclusão deste trabalho.

À instituição Polícia Rodoviária Federal, em especial aos gestores regionais no estado de Minas Gerais, pelo suporte e incentivo à conclusão da minha graduação em Ciências Atuariais.

## RESUMO

Os eventos relacionados aos acidentes de trânsito representam parcela importante das despesas hospitalares do Sistema Único de Saúde do Brasil. Considerando apenas as causas externas de morbidade, no período de 2015-2020, os acidentes de trânsito representaram 18,02% das internações e 20,22 % do valor gasto com internações na rede pública hospitalar. Para reduzir o número de feridos e acidentes no âmbito das rodovias federais, a Polícia Rodoviária Federal desenvolve, anualmente, campanhas educativas de sensibilização dos usuários das rodovias federais para a necessidade de atenção e cuidados na direção dos veículos automotores durante suas viagens. Com base nos dados abertos de acidentes de trânsito observados nas rodovias federais no período de 2015 a 2020, disponibilizados no site da Polícia Rodoviária Federal, buscou-se neste trabalho, por meio de Modelos Lineares Generalizados, estabelecer uma modelagem para estimação do número de feridos e de acidentes nas rodovias federais para o triênio 2021-2023. Os resultados apontam para redução do número de feridos e acidentes, o que valida as ações desenvolvidas pela Polícia Rodoviária Federal. Os resultados também revelam uma tendência de crescimento na relação de feridos por acidente, o que deveria ser considerado no planejamento das futuras ações. Os resultados alcançados neste trabalho permitirá a estimação e otimização dos diversos recursos empregados nas campanhas educativas para um trânsito seguro, com vistas à contínua redução do número de feridos e de acidentes na rodovias federais.

Palavras-chave: Previsão. Número de feridos e de acidente de trânsito. Dados de acidentes em rodovias federais. Campanhas da Polícia Rodoviária Federal. Modelos lineares generalizados.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ressarcimento dos custos com internações de acidentes de trânsito ao SUS pelas operadoras de plano de saúde (valores em milhões de reais) .....	13
Tabela 2: Custo do acidente nas rodovias federais no ano de 2014.....	15
Tabela 3: Agrupamento dos tipos de acidentes .....	22
Tabela 4: Resumo do número de feridos e de acidentes de trânsito nas rodovias federais 2015-2020 .....	27
Tabela 5: Crescimento estimado da frota de veículos para 2022 e 2023.....	30
Tabela 6: Estimativas para o número de feridos com o modelo Binomial Negativa ..	31
Tabela 7: Estimativas para o número de acidentes com o modelo Binomial Negativa .....	31
Tabela 8: Relatividades dos números de feridos e de acidentes .....	32
Tabela 9: Estimativa do número de feridos e acidente em rodovias federais por tipo de acidente (2021 - 2023) .....	33
Tabela 10: Estimativa do número de feridos e acidente em rodovias federais por região (2021 - 2023).....	33
Tabela 11: Razão entre número de feridos e de acidente em rodovias federais .....	33

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Boxplot do número de feridos por região e tipo de acidente .....	23
Figura 2: Boxplot número de acidentes por região e tipo de acidente.....	23
Figura 3: Frota de veículos por região no período de 2015 - 2021.....	24
Figura 4: Dispersão do número de feridos e de acidentes estimados versus observados 2019 e 2020.....	29
Figura 5: Envelopes para os resíduos componentes de desvio do número de feridos para as distribuições Poisson e Binomial Negativa .....	29
Figura 6: Envelopes para os resíduos componentes de desvio do número de acidentes para as distribuições Poisson e Binomial Negativa .....	30
Figura 7: Dispersão do número de feridos e de acidentes estimados versus observados.....	30

## LISTA DE ABREVIATURAS

AT – Acidente de Trânsito

PRF – Polícia Rodoviária Federal

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito

SUS – Sistema Único de Saúde

SIS/SUS – Sistema de Informações Hospitalares do Sistema Único de Saúde

CFM – Conselho Federal de Medicina

ONU – Organização das Nações Unidas

FETRAN – Festival Estudantil Temático de Trânsito

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PNAD - Pesquisa Nacional Por Amostras de Domicílios

DPVAT – Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre

OPS – Operadora de Planos de Saúde

ANS – Agência Nacional de Saúde Suplementar

PEA – População Economicamente Ativa

IPEA – Instituto de Pesquisa e Economia Aplicada

PRMMAT – Programa de Redução da Morbidade por Acidente de Trânsito

MLG – Modelo Linear Generalizado

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>10</b>
2.1	OS GASTOS COM INTERNAÇÕES DE VÍTIMAS DE ACIDENTE DE TRÂNSITO NO SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE DO BRASIL .....	10
2.2	CUSTOS DO ACIDENTE DE TRÂNSITO NO BRASIL.....	13
2.3	O COMPORTAMENTO DO CONDUTOR.....	16
2.4	OS OBJETIVOS DAS CAMPANHAS EDUCATIVAS DA PRF .....	17
2.6	MLG's PARA DADOS DE CONTAGEM.....	19
<b>3</b>	<b>DADOS E METODOLOGIA</b> .....	<b>20</b>
3.2	DADOS SOBRE FERIDOS E ACIDENTES NO ÂMBITO DAS RODOVIAS FEDERAIS .....	20
3.2.1	Análise descritiva do número de feridos e de acidentes nas rodovias federais por tipo de acidente e região .....	22
3.3	DADOS SOBRE A FROTA DE VEÍCULOS POR REGIÃO DO BRASIL ..	23
3.3.1	Análise descritiva da frota de veículos por região.....	24
3.4	METODOLOGIA PARA ESTIMAÇÃO DO NÚMERO DE FERIDOS E DE ACIDENTES NAS RODOVIAS FEDERAIS.....	25
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>27</b>
4.1	RELATIVIDADES DO NÚMERO DE FERIDOS E DO NÚMERO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO NAS RODOVIAS FEDERAIS PARA O TRIÊNIO 2021 – 2023 .....	32
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>34</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Historicamente, os óbitos por acidentes de trânsito (AT) assumem posição importante no ranking das mortes por causas externas. Segundo dados do Ministério da Saúde, os acidentes de transporte (que engloba todos os registros relacionados a mortes por AT), representaram 4,25% do total de óbitos no país no ano de 2020. Para este mesmo ano, considerando apenas a mortalidade por causas externas (Código CID -10 - Capítulo XX), percebe-se que os AT representaram 23,08%, ocupando assim a 2ª posição, perdendo apenas para Agressões, que representaram 32,64%.

Além das mortes, os acidentes de trânsito também tem forte influência na morbidade hospitalar, gerando gastos expressivos associados ao atendimento, remoção, tratamento e permanência das vítimas em ambiente hospitalar, além de despesas com medicamentos e processos de recuperação. Segundo dados do Ministério da Saúde, a morbidade por AT representou 18% das internações na rede pública hospitalar no período de 2015-2020. Esse percentual representou a 2ª maior causa de internações no período.

Ademais, segundo dados do Conselho Federal de Medicina (CFM), 60% das vítimas de acidente de trânsito tinham entre 15 e 39 anos de idade, e os menores índices ficaram nas faixas etárias de 0 a 14 anos (8,2%) e acima de 60 anos (8,4%). Ou seja, as vítimas de acidentes de trânsito concentram-se na faixa etária da População Economicamente Ativa (PEA). Ainda de acordo com dados do CFM, o número de vítimas graves de sinistros de trânsito no Brasil, nos últimos dez anos, ultrapassou 1,6 milhão de pessoas. No país, em média, a cada hora morrem cinco pessoas por falta de segurança no trânsito.

Segundo dados do Ministério da Saúde, entre 2015 e 2019, ocorreu aumento de aproximadamente 6,53% no número de atendimentos por AT no país, passando de 204.640 (2015) para 218.009 (2019). É importante dizer que no ano de 2020, observou-se queda no número de atendimentos desta natureza, sendo registrados 193.935 atendimentos, presume-se devido às restrições de locomoção impostas pela pandemia COVID-19.

A violência no trânsito tem ganhado cada vez mais espaço nos debates para implementação de políticas públicas, a ponto da Organização das Nações Unidas

(ONU) ter estabelecido o período de 2011 a 2020 como a “Década de Ação pela Segurança no Trânsito”, que teve como um dos seus objetivos a redução em 50% do número global de mortes e lesões relacionadas ao trânsito.

Neste cenário, estão insertos os acidentes ocorridos nos 213 mil quilômetros de rodovias federais pavimentadas que cortam todo o território nacional, os quais são atendidos pela Polícia Rodoviária Federal (PRF), órgão integrante do Ministério da Justiça e Segurança Pública e que possui como missão a promoção da segurança pública, proteger vidas, garantir a mobilidade nas rodovias federais e nas áreas de interesse da União. Com o fito de atingir sua missão, a PRF desenvolve ações periodicamente voltadas para a educação dos usuários das rodovias federais (Atlas da década de ações para segurança viária da Polícia Rodoviária Federal).

A educação para o trânsito é uma das principais ações na orientação dos esforços institucionais da PRF para redução dos riscos no trânsito, pelo seu potencial preventivo baseado na mudança comportamental. Entre as ações de educação para o trânsito desenvolvidas pela PRF, estão o Cinema Rodoviário PRF (direcionado aos usuários das rodovias, condutores e passageiros) e os projetos Festival Estudantil Temático de Trânsito (FETRAN) e Educar PRF (direcionados ao público jovem, crianças e adolescentes), além das Palestras e Ações Educativas que são realizadas em escolas, empresas e eventos (Atlas da década de ações para segurança viária da Polícia Rodoviária Federal).

Dadas as características de utilização das rodovias, seja em relação aos limites de velocidade, traçado das vias e tipos de veículos (leves, pesados, conjugados, transporte de passageiros e carga), pode-se presumir que os acidentes ocorridos neste tipo de via pública tendem a ser mais severos, gerando vítimas que potencialmente ensejarão despesas para atendimento, tratamento e que por vezes ficaram internadas em ambiente hospitalar na rede pública.

Assim, considerando a relevância do tema, este trabalho procurará estabelecer um modelo de previsão para o número de feridos e de acidentes no âmbito das rodovias federais para as cinco macrorregiões do país, além de verificar se os resultados das campanhas educativas desenvolvidas pela PRF no período de 2015-2020 contribuíram para a redução do número de vítimas de acidente de trânsito, o que conseqüentemente, dentre outros efeitos, reduz os impactos financeiros no SUS decorrentes do atendimento e tratamento destas vítimas.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Durante a revisão da literatura, foi possível observar que o tema proposto não possui muita interação com outras áreas do conhecimento, como epidemiologia, psicologia, engenharia, demografia, dentre outras. Esse fator, em certa medida, dificultou a exploração de trabalhos acadêmicos, artigos científicos e publicações em geral.

Considerando que ainda existem algumas limitações de acesso à instituições e acervos físicos, em decorrência da pandemia COVID-19, a revisão da literatura utilizou-se basicamente de buscas eletrônicas em bases como Scientific Electronic Library Online, Literatura Latino-americana e do Caribe em Ciência da Saúde, National Library of Medicine, Springer Link, além da base de trabalhos do Google Acadêmico.

Em que pese a observação de não haver interação com outras áreas do conhecimento, foi possível pesquisar algumas literaturas existentes acerca de assuntos de especial interesse ao presente trabalho, como por exemplo:

- a) os gastos com internações de vítimas de acidente de trânsito no Sistema Único de Saúde do Brasil;
- b) o comportamento do condutor;
- c) os efeitos das campanhas educativas para o trânsito seguro e o modelo de ação da Polícia Rodoviária Federal;
- d) Modelos Lineares Generalizados para dados de contagem.

### 2.1 OS GASTOS COM INTERNAÇÕES DE VÍTIMAS DE ACIDENTE DE TRÂNSITO NO SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE DO BRASIL

O Sistema Único de Saúde (SUS), a partir da promulgação da Constituição Federal de 1988, tornou-se um dos maiores sistemas de saúde pública do mundo, abrangendo atendimentos de baixa à alta complexidade. O SUS proporciona o acesso universal ao sistema público de saúde, sem qualquer distinção entre os indivíduos.

No que tange o atendimento às vítimas de acidente de trânsito, de acordo com dados divulgados pelo Conselho Federal de Medicina (2019), o número de vítimas graves de sinistros de trânsito no Brasil, nos últimos dez anos, ultrapassou 1,6 milhão de pessoas.

Segundo dados do Observatório Nacional de Segurança Viária (ONSV), 60% dos leitos de pronto atendimento do Sistema Único de Saúde (SUS) são ocupados por vítimas de acidentes de trânsito.

De acordo com o Conselho Federal de Medicina, entre 2009 e 2018, o Sistema Único de Saúde gastou quase R\$3 bilhões apenas com acidentes de trânsito.

Segundo dados do Ministério da Saúde, entre 2015 e 2020 ocorreu aumento de aproximadamente 6,53% no número de atendimentos por acidentes de trânsito no país, passando de 204.640 (2015) para 218.009 (2019), correspondendo a 18% de todas as internações por causa externas.

As vítimas de acidente de trânsito concentraram mais atendimento que os demais pacientes internados por causas externas, nos centros cirúrgicos, nas unidades de terapia intensiva (UTI), nos setores de radiologia e nos serviços de fisioterapia e reabilitação, (ODERO; GARNER; ZWI, 1997).

No Brasil, em 2013, houve 195.078 internações decorrentes de acidentes de trânsito registrados no Sistema de Informações Hospitalares do Sistema Único de Saúde (SIH/SUS). As maiores taxas de internação por acidente de trânsito foram observadas em indivíduos do sexo masculino na faixa etária de 20 a 39 anos, (ANDRADE e JORGE, 2017).

Parte dos gastos suportados pelo SUS em decorrência do atendimento às vítimas de acidente de trânsito são reembolsados ao sistema público sob duas modalidades:

a) parcela arrecadada pelos estados federativos do seguro obrigatório de Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre (DPVAT) e;

b) pelo repasse das Operadoras de Plano de Saúde (OPS), referente ao atendimento prestado pelo SUS aos seus beneficiários.

Desde 1970, com o fito de minimizar os gastos do SUS com o atendimento de vítimas de acidente de trânsito, passou a vigorar o seguro obrigatório DPVAT, pago anualmente por todos os proprietários de veículos automotores, (MARTINS, 2010).

O valor arrecadado desse tributo é diretamente proporcional à frota de veículos e 45% da arrecadação é destinada exatamente para custear a assistência médico-hospitalar das vítimas de acidente de trânsito atendidas pelo SUS. Outros 5% são destinados a programas de prevenção dos acidentes e outros 50% para custear indenizações, despesas administrativas, corretagens, impostos e afins, (BATISTA e MYRRHA, 2016). Atualmente, esse seguro é administrado pela Seguradora Líder dos Consórcios do Seguro DPVAT.

Por estimativas já realizadas, aponta-se que a receita advinda do DPVAT para os SUS seria suficiente para arcar com aproximadamente 70% dos gastos com o cuidado da saúde de vítimas acidentadas no trânsito, (BATISTA e MYRRHA, 2016).

Além disso, há também o ressarcimento dos atendimentos do SUS aos beneficiários das OPS e que são passíveis de cobrança pela Agência Nacional de Saúde Suplementar (ANS), conforme estabelecido no artigo 32 da Lei nº 9.656/98 cujo caput segue transcrito:

Art. 32. Serão ressarcidos pelas operadoras dos produtos que tratam o inciso I e o parágrafo 1º do art 1º desta Lei, de acordo com normas a serem definidas pela ANS, os serviços de atendimento à saúde previstos nos seus respectivos contratos, prestados a seus consumidores e respectivos dependentes, em instituições públicas ou privadas, conveniadas ou contratadas, integrantes do Sistema Único de Saúde. (BRASIL, 1998).

Segundo Costa (2017), os impactos econômico-financeiros ocasionados pelo ressarcimento ao SUS pelas OPS, encontra limitações na disponibilidade de informações acerca do processo de ressarcimento ao SUS, pois não há informações acerca do número de beneficiários que utilizam o SUS, e sim dos atendimentos realizados pelos beneficiários.

Os dados extraídos do site da ANS, em 23/06/2022, revelam os valores em reais ressarcidos pelas operadoras de plano de saúde referentes aos anos de 2009 a 2015, não retornando resultados para o período de 2016-2020, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Ressarcimento dos custos com internações de acidentes de trânsito ao SUS pelas operadoras de plano de saúde (valores em milhões de reais)

Ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Gasto	199,2	219,74	230,17	254,39	272,86	271,9
Ressarcimento	0,693	0,284	0,38	1,151	3,508	4,441
% Ressarcimento	0,35%	0,13%	0,17%	0,45%	1,29%	1,63%

Ressalta-se que até 2011, eram cobrados apenas os valores correspondentes às internações hospitalares e a partir de 2012 o ressarcimento passou a contemplar também os atendimentos ambulatoriais de média e alta complexidade.

## 2.2 CUSTOS DO ACIDENTE DE TRÂNSITO NO BRASIL

A magnitude dos valores despendidos para atendimento, remoção e tratamento das vítimas de acidente de trânsito, permite assumir que estes eventos podem ser considerados um problema grave para a saúde pública, (CAVALCANTE; MORITA; HADDAD, 2009 apud BATISTA; MYRRHA, 2016).

Os gastos gerados impactam não apenas o setor da saúde, com altos custos médico-hospitalares, mas também a Previdência Social e a economia em geral, considerando que 83% das vítimas internadas pertencem a PEA com idade entre 15 e 60 anos, (JORGE e MARTINS, 2013 apud BATISTA e MYRRHA, 2016).

A monetização dos custos dos acidentes é tarefa complexa e até criticada por alguns autores devido à incompatibilidade ética acerca da valoração da dor, do sentimento e da própria vida. No entanto, importa que a estrutura e os processos de formação destes custos sejam conhecidos para que políticas adequadas possam ser

intensificadas para redução e mitigação dos impactos negativos desses eventos sobre a sociedade.

Alguns autores entendem pertinente esta abordagem, pois a quantificação dos acidentes de trânsito pode balizar estratégias no sentido de estabelecer melhorias no sistema de mobilidade e políticas públicas ao enfrentamento do problema, (BARDAL; JORGENSEN, 2017 apud TISCHER, 2019), nas quais inserem-se as campanhas educativas que serão tratadas a frente.

Cálculos dos gastos com internações por causas externas a partir do SIH/SUS, apenas para o estado de São Paulo em 2000 demonstraram que os acidentes de trânsito responderam por 17% das internações por causas externas e a 26% dos óbitos ocorridos após a internação. O tempo médio de internação foi de 5,7 dias e taxa de mortalidade hospitalar de 4,7%, ambos acima da média de outros tipos de causas externas, (JORGE e KOIZUMI, 2007 apud BACCHIERI e BARROS, 2011).

O Informe Técnico Institucional da Secretaria de Estado de Saúde de São Paulo mostrou que, durante o ano de 2005, os acidentes de trânsito foram responsáveis por 17% das internações e responderam por 22% dos gastos por causas externas, valores próximos à R\$34 milhões, (BACCHIERI e BARROS, 2011).

Os resultados de uma metodologia para estimar o custo dos acidentes e violências baseada na utilização de bancos de dados do SUS, orçamentos estaduais e municipais e estimativas sobre demanda por atendimento ambulatorial (urgência e emergência) da Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios (PNAD) indicaram que o tratamento de vítimas por acidente de trânsito custou 4,3 vezes mais do que aqueles constantes do Datasus em 2004, passando de R\$106,5 milhões para R\$453 milhões, (RODRIGUES, 2009 apud BACCHIERI e BARROS, 2011).

O Relatório de Pesquisa do Instituto De Pesquisa e Economia Aplicada (IPEA) em parceria com a PRF (2015), estimou que os cerca de 170 mil acidentes de trânsito ocorridos apenas nas rodovias federais brasileiras no ano de 2014 geraram um custo social de R\$12,3 bilhões aos cofres públicos.

De acordo com o relatório do IPEA (2015), os custos com os acidentes de trânsito são amplos e podem ser decompostos em quatro grandes grupos:

a) custos associados às pessoas (custo do atendimento pré hospitalar, hospitalar, pós-hospitalar, perda de produção, remoção/translado e gasto previdenciário);

b) custos associados aos veículos (custos dos danos materiais aos veículos, perda de carga, remoção/guincho e de reposição);

c) custos associados à via/ambiente (custo dos danos à propriedade pública e privada);

d) custos associados às instituições (custo de processos judiciais e do atendimento policial).

Tabela 2: Custo do acidente nas rodovias federais no ano de 2014

Custos	Descrição	Valor	% valor
Associados às pessoas	Despesas hospitalares, atendimento médico, remoção de vítimas e perda de produção	7.958.883.201,04	64,72%
Associado aos veículos	Remoção de veículos, danos aos veículos e perda de carga	4.268.587.302,76	34,71%
Institucionais e danos à propriedade	Atendimento e processos e danos à propriedade pública e privada	70.850.037,27	0,58%

Fonte 1: Relatório IPEA/PRF (2015)

As estimativas mais recentes, calculadas no relatório do IPEA (2015), considerando somente os acidentes que ocorreram nas 104 rodovias federais, demonstraram que os custos médios de acidentes de trânsito com vítima grave poderiam ser distribuídos em custos pré-hospitalares R\$ 1.111,73; custos hospitalares R\$ 72.855,40; custos pós hospitalares R\$ 3.150,21; custos de perda de produção R\$ 47.797,94; custos de remoção por vítima R\$ 218,64.

## 2.3 O COMPORTAMENTO DO CONDUTOR

Entre as causas externas, os acidentes de trânsito se alternam como a primeira e a segunda causa básica de morte mais frequente no Brasil, estando diretamente ligados à imprudência, imperícia e negligência dos condutores, (OLIVEIRA, 2007 apud BATISTA e MYRRHA, 2016).

Neste sentido, o comportamento do condutor é, sem dúvida, o mais importante fator contribuinte de acidentes, pois estima-se que 90% das ocorrências sejam causadas por erros ou infrações às leis de trânsito, (HOFFMANN, 2005).

A diminuição do desempenho devido ao uso de álcool e drogas tem sido registrada em numerosos estudos, mas decréscimos resultantes de fadiga são também um sério problema entre condutores profissionais, em particular àqueles de transporte de longa distância, (SILVA e GÜNTHER, 1999; VITORELLO, 1998 apud HOFFMANN, 2005). Estima-se que 30% dos acidentes com vítimas graves e fatais são em decorrência de desrespeitos aos limites de velocidade, (BARJONET, 1991 apud HOFFMANN, 2005).

A mudança de comportamento do condutor, a fim de evitar o acidente e seus consequentes custos, podem ser estimulados por diversas estratégias, a exemplo, o planejamento físico das vias, a aplicação de penalidades severas, a identificação e retirada de circulação de condutores infratores contumazes e, por fim, a conscientização do risco de envolvimento em acidente, (VIEIRA, 1999 apud HOFFMANN, 2005).

No Brasil, o Código de Trânsito Brasileiro (Lei 9.503/1997), introduziu o sistema de pontos negativos para registrar as infrações às leis de trânsito. Esse sistema tem sido usado para desenvolver medidas intervencionistas àqueles condutores que estão acima do limite de pontos deméritos; legalmente, são obrigados a participar de cursos específicos antes que a eles seja dada novamente permissão para dirigir.

O psicólogo Daniel Kahneman, vencedor do prêmio Nobel de 2002 em ciências econômicas, analisou diversos estudos que reconhecem dois sistemas no processo de decisão das pessoas. O primeiro é automatizado, opera sem esforços e é o mais acionado no cotidiano. O segundo aciona o sistema cognitivo, exige precisão e mais atenção para a tomada de decisão. Este último é considerado o mais preguiçoso,

embora recorra às verdades estabelecidas pelo primeiro para realizar suas escolhas (FERNANDES, 2016).

Isto significa dizer que as decisões estão baseadas em vieses e na pressão de diferentes mecanismos psicológicos, como a experiência de uma nova informação, a pressão social pela decisão à tendência de um determinado grupo, o interesse em evitar perdas em vez de auferir ganhos, e no estabelecimento de relações causais inadequadas.

Nem sempre se decide pela escolha mais correta ou racional. A emoção tem papel fundamental no processo decisório e, em grande parte das vezes, é ela que fornece o impulso para as seleções efetuadas, (KAHNEMAN, 2011, p. 58 apud AMAURI, 2016).

Neste sentido, nos próximos anos, a preocupação com a segurança viária deverá fomentar uma quantidade considerável de pesquisas inter e multidisciplinares (HOFFMANN, 2005).

## 2.4 OS OBJETIVOS DAS CAMPANHAS EDUCATIVAS DA PRF

As consequências dos acidentes e violências para o sistema de saúde e para a sociedade apontam a necessidade de aperfeiçoamento do sistema de informações de mortalidade e morbidade por causas externas, com vistas a subsidiar políticas públicas para a prevenção do problema e atendimento às vítimas de acidente de trânsito.

Faz-se necessário avançar nos programas tradicionais de prevenção de acidentes de trânsito e buscar novas formas de mudar o código social de comportamento da população como um todo (AMAURI, 2016). O planejamento da campanha estrutura as ações e tenta apontar seus efeitos no curto, médio e no longo prazo, de acordo com o cronograma estabelecido. Portanto, é imprescindível para campanhas educativas sobre violência e mortes no trânsito um planejamento ao longo do tempo, que trate a questão de forma permanente, evitando campanhas pontuais e que não estejam dentro de um sistema educativo perene.

Em 2001, o Ministério da Saúde publicou a Portaria nº 737 que formalizou a Política Nacional de Redução de Morbimortalidade por Acidentes e Violência. O Ministério da Saúde apresentou o Programa de Redução da Morbimortalidade por Acidentes de Trânsito: Mobilizando a Sociedade e Promovendo a Saúde (PRMMAT), para instrumentalizar a nova política pública, cujo marco inicial referente aos acidentes de trânsito foi o Código de Trânsito Brasileiro, de 1997. O programa visou implementar ações de promoção da saúde em parceria com setores governamentais, não governamentais e sociedade, em aglomerados urbanos com ampla malha viária e ocorrência de acidentes.

Ainda na temática de ações voltadas para a segurança no trânsito, o movimento 'Maio Amarelo' organiza ações com a proposta de chamar a atenção da sociedade para o alto índice de mortes e feridos no trânsito em todo o mundo. O objetivo do movimento é uma ação coordenada entre o Poder Público e a sociedade civil, colocando em pauta o tema "segurança viária".

A Assembleia-Geral das Nações Unidas editou, em março de 2010, uma resolução definindo o período de 2011 a 2020 como a "Década de Ações para a Segurança no Trânsito". O documento foi elaborado com base em um estudo da Organização Mundial da Saúde (OMS) em 178 países que contabilizou no ano de 2009 cerca de 1,3 milhão de mortes por acidente de trânsito e aproximadamente 50 milhões de sobreviventes com sequelas, (BACCHIERI e BARROS, 2011).

No âmbito da PRF, segundo informações do Atlas da Década de Ações para Segurança, publicado em setembro 2021, as ações da instituição no campo da educação para o trânsito previam, dentre outros esforços, a realização de ações voltadas ao processo de aprendizagem como instrumento de formação de cidadãos ativos e participativos, capazes de induzir uma mudança comportamental no trânsito e redução consequente da violência.

Entre as atividades de educação para o trânsito realizadas pela PRF estão os Comandos Educativos, direcionado aos usuários das rodovias, os projetos Festival Estudantil Temático de Trânsito (FETRAN) e Educar PRF, desenvolvidos em unidades de ensino e voltados ao público jovem (crianças e adolescentes), além de diversas ações educativas realizadas para os mais diversos públicos, tanto nas rodovias como em diferentes locais como escolas, eventos, instituições públicas ou privadas, entre outras.

As ações educativas visam induzir reflexões sobre segurança e cidadania a partir da adoção de condutas positivas. Essas não estão diretamente relacionadas à fiscalização e nem limitadas à circunscrição das rodovias e são desenvolvidas em diversos formatos e múltiplas abordagens ao tema trânsito. As ações objetivam a humanização do trânsito por meio de intervenções inovadoras focadas nos diferentes atores do trânsito e em temas relevantes a cada segmento que se busca alcançar.

Dentre as ações, destaca-se a implantação da perícia administrativa pela PRF, com foco principal na elucidação das causas da acidentalidade e consequentes ações de prevenção; as intervenções na infraestrutura viária, atuando como parceiros dos órgãos responsáveis e concessionárias de rodovias; na melhoria dos sistemas informáticos, de consultas e registro de informações; e na atualização legislativa e regulamentar, trabalhando na redação e influenciando na propositura de projetos de Lei que visem a segurança viária e como integrantes dos órgãos que regulamentam o trânsito e o transporte no país.

## 2.6 MLG's PARA DADOS DE CONTAGEM

A fim de estabelecer um modelo para estimar o número de vítimas feridas e de acidentes de trânsito no âmbito das rodovias federais, será utilizado uma metodologia baseada em Modelos Lineares Generalizados (MLG) para dados de contagem.

Os MLG 's, propostos por Nelder e Wedderburn (1972), são uma extensão do modelo linear clássico para uma família mais geral de distribuições. Eles possibilitam considerar distribuições de probabilidade diversas (contínuas e discretas) para a variável resposta, além da distribuição normal, bem como utilizam uma estrutura mais flexível para estabelecer a relação funcional entre o valor esperado da variável resposta e das variáveis explicativas, que no modelo normal clássico é feito por meio de uma função de ligação identidade.

Para modelagem de dados de contagem é comum a utilização dos MLG's, em especial aqueles que modelam seguindo as distribuições de Poisson e Binomial Negativa, como por exemplo foi a proposta para avaliar a relação entre poluentes atmosféricos e as internações mensais por doenças respiratórias na cidade de São José dos Campos, (PEREIRA, 2022).

Os MLG também foram aplicados para estimar a sensibilidade das operadores de planos privados de assistência à saúde médico-hospitalar. Nesse trabalho foram empregados modelos considerando a distribuição normal com função de ligação logarítmica, (VIANNA, 2018).

### **3 DADOS E METODOLOGIA**

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados abertos sobre:

- a) Quantidade e valores das internações de vítimas de acidentes de trânsito e transporte no período de 2015 a 2020, disponíveis no site do Ministério da Saúde. Esses dados não foram utilizados na modelagem, mas serviram para verificar que as despesas relacionadas a estes eventos são relevantes e merecem estudos mais aprofundados e abrangentes para investigar possíveis medidas para sua redução;
- b) Acidentes de trânsito ocorridos no âmbito das rodovias federais no período de 2015 a 2020, disponíveis no site da Polícia Rodoviária Federal (PRF);
- c) Quantitativo da frota de veículos registrados em todo o país no período de 2015 a 2021, disponíveis no site do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN).

#### **3.2 DADOS SOBRE FERIDOS E ACIDENTES NO ÂMBITO DAS RODOVIAS FEDERAIS**

A base de dados, após ser extraída do site da PRF, foi organizada com recursos de pacotes do software R, como “dplyr”, “tidyverse”, “hnp”, “MASS” e “ggplot”. Para a análise descritiva dos dados e estimação do número de feridos e de acidentes, usou-se as seguintes variáveis:

- a) Feridos: uma das variáveis de especial interesse, pois será tratada como variável resposta e servirá de base para estabelecer um modelo que explique o número de vítimas feridas nos acidentes de trânsito das rodovias

federais, bem como para analisar os resultados das ações educativas desenvolvidas pela PRF.

- b) Número de acidente: igualmente à variável anterior, será tratada como variável resposta e servirá de base para estabelecer um modelo capaz de estimar o número de acidentes nas rodovias federais do país.
- c) Região: distribuição dos acidentes entre as cinco macrorregiões do país (Sudeste, Sul, Nordeste, Norte e Centro-Oeste). Essa covariável será incluída a fim de distinguir os locais com maior incidência de eventos em relação ao número de feridos e acidentes.
- d) Tipo de acidente: a natureza do acidente e sua distribuição, devido as suas severidades, deve estar perfeitamente alinhados às ações educativas, afinal o que se pretende é exatamente a diminuição dos acidentes, espera-se, portanto, que tais ações estejam sendo focadas nos eventos de maior prevalência.
- e) Pessoas atingidas: essa covariável representa o número de pessoas abordadas nas ações voltadas para educação no trânsito desenvolvidas pela PRF em todos os estados do país.

Em função da base de dados classificar os acidentes em diversos subtipos, antes de iniciar a modelagem do número de feridos e de acidentes, agrupou-se os subtipos de acidentes em cinco categorias, conforme Tabela 3.

Por oportuno, vale citar que durante o desenvolvimento deste trabalho os dados referentes aos acidentes nas rodovias federais ocorridos no ano de 2021 ainda não estavam disponíveis. Desta forma, os dados sobre número de feridos e acidentes para o ano de 2021, apesar de já observados, serão estimados pelo modelo proposto.

Tabela 3: Agrupamento dos tipos de acidentes

Tipo de acidente	Sub tipos de acidente agrupados
Atropelamento	Atropelamento de animal, atropelamento de pessoa e atropelamento de pedestre
Capotamento	Capotamento e tombamento
Colisão	Colisão frontal, colisão lateral, colisão traseira, colisão com bicicleta, colisão com objeto fixo, colisão com objeto móvel e engavetamento
Danos eventuais	Danos eventuais, derramamento de carga, incêndio
Saída de pista	Saída de pista, saída de leito carroçável

### 3.2.1 Análise descritiva do número de feridos e de acidentes nas rodovias federais por tipo de acidente e região

Para uma melhor interpretação dos dados sobre o número de feridos e de acidentes nas rodovias federais fez-se necessário adotar uma medida de exposição a estes eventos, que neste trabalho será a frota de veículos registados e agrupados nas macrorregiões do país.

A distribuição do número de feridos e de acidentes por região e por tipo de acidente demonstra que a média de feridos é um pouco mais baixa na região sudeste em relação as demais e que a média de feridos no tipo de acidente 'Colisão' é consideravelmente superior em relação aos demais. A mesma interpretação aplica-se à distribuição de acidentes por região e tipo de acidente, conforme Figuras 1 e 2.

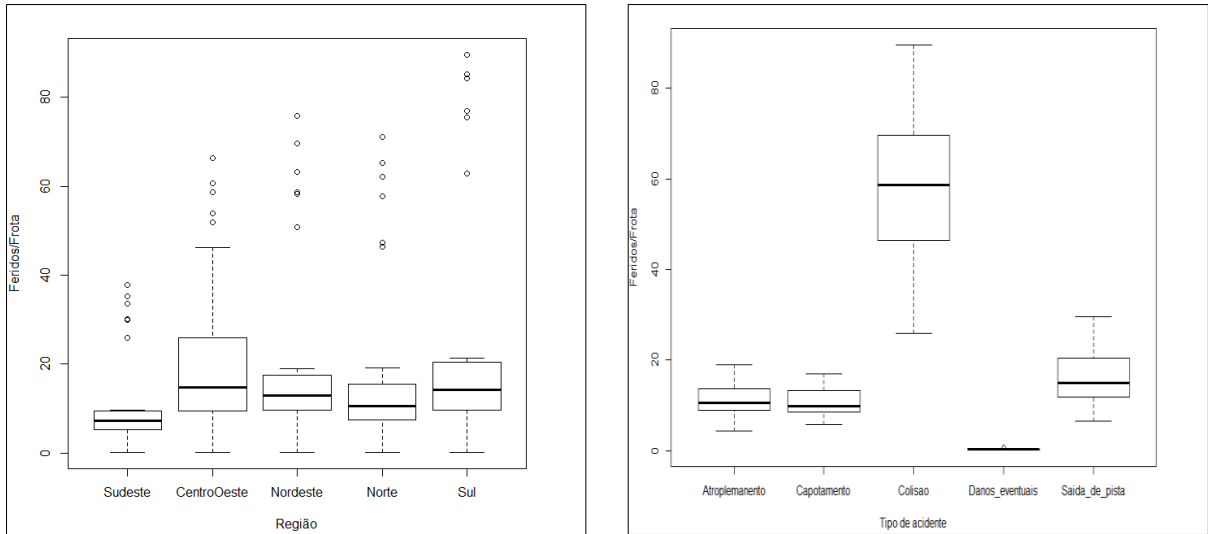


Figura 1: Boxplot do número de feridos por região e tipo de acidente

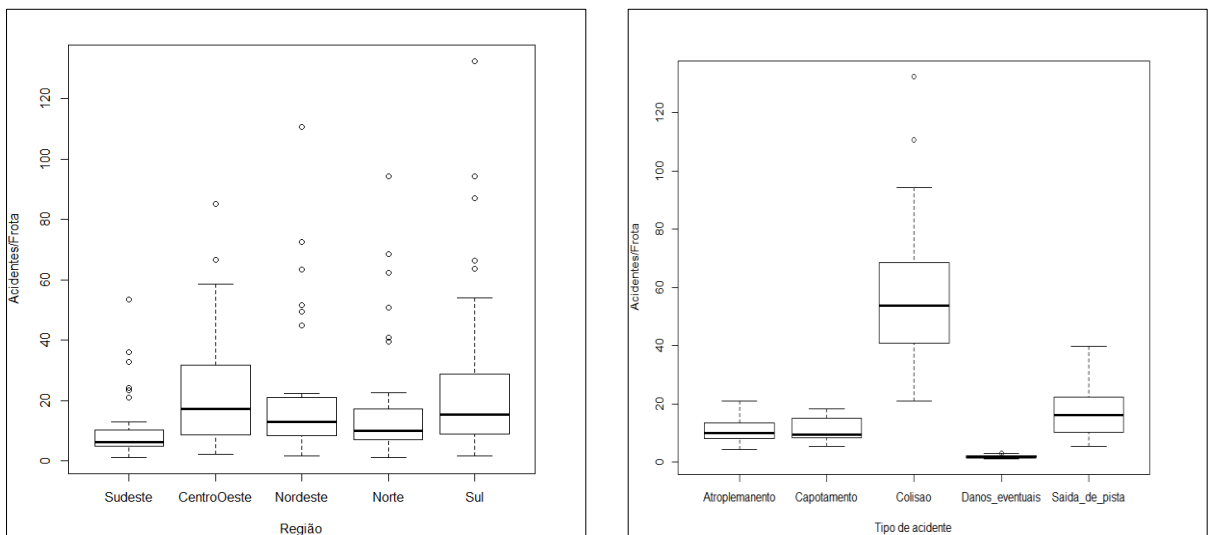


Figura 2: Boxplot número de acidentes por região e tipo de acidente

### 3.3 DADOS SOBRE A FROTA DE VEÍCULOS POR REGIÃO DO BRASIL

Conforme dito na seção anterior, a interpretação do comportamento do número de feridos de acidentes no âmbito das rodovias federais requer uma medida de exposição ao risco de envolvimento em acidente de trânsito, que neste trabalho será representada pela frota de veículos em cada região.

### 3.3.1 Análise descritiva da frota de veículos por região

Conforme dados do DENATRAN, observa-se que a frota de veículos brasileira vem se comportando de maneira crescente ao longo do tempo. A Figura 3 representa o crescimento da frota de veículos por região do Brasil no período de 2015 a 2021.

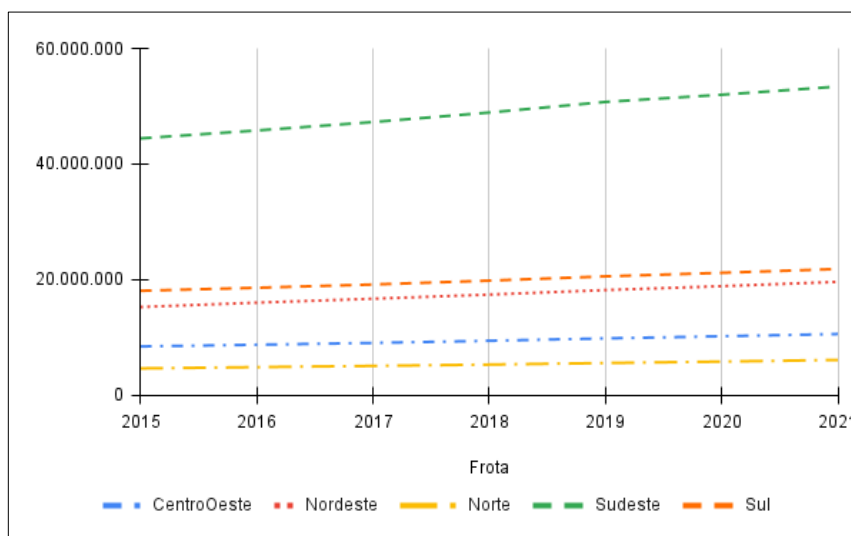


Figura 3: Frota de veículos por região no período de 2015 - 2021

As regiões com as maiores representatividades no incremento de veículos na frota nacional para o período de 2015-2021 foram, respectivamente, Norte (32%), Nordeste (29%), Centro Oeste (26%), Sul (21%) e Sudeste (20%).

É importante ressaltar que a região que engloba a unidade federativa de registro do veículo não limita a exposição deste a envolvimento em acidente apenas naquela região. Contudo, a inexistência de dados sobre a frota circulante de veículos por região do Brasil não nos permite estabelecer uma medida de exposição fiel, ficando esta possibilidade como objeto de sugestão de trabalhos futuros.

### 3.4 METODOLOGIA PARA ESTIMAÇÃO DO NÚMERO DE FERIDOS E DE ACIDENTES NAS RODOVIAS FEDERAIS

Para estimação das variáveis de interesse deve-se, primeiramente, adotar alguma metodologia para estimação da frota de veículos para os anos de 2022 e 2023. Essa variável servirá como uma medida de exposição ao risco de envolvimento em acidente de trânsito nas rodovias federais. Para estabelecimento dessa medida de exposição considerou-se a variação média da frota de veículos entre os anos de 2015 e 2021 para estimar a frota para o ano de 2022, após, aplicou-se novamente a metodologia para estimar a frota para o ano de 2023.

Para a modelagem adequada do número de feridos e acidentes de trânsito nas rodovias federais, objetos de estudo do presente trabalho, deve-se considerar distribuições de probabilidade para dados de contagem. Dessa forma, serão consideradas as distribuições Poisson e Binomial Negativa, ambas pertencentes à família exponencial de distribuições.

Os MLG 's, dentre outras aplicações, podem ser utilizados quando os valores possíveis da variável resposta são provenientes de contagens, como é o caso das variáveis de interesse no presente trabalho (número de feridos e de acidentes).

Segundo Cordeiro e Demétrio (2008), o MLG é constituído por 3 componentes, a saber:

i) um componente aleatório, que são as variáveis aleatórias independentes  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  de uma mesma distribuição de probabilidade e que deve pertencer à família exponencial de distribuições;

ii) um componente sistemático, chamado de preditor linear, que é uma função linear das variáveis explicativas cujos coeficientes são os parâmetros do modelo e medem a força da associação entre cada uma das variáveis explicativas, portanto um componente aleatório;

iii) uma função de ligação que estabelece a forma que o componente sistemático será associado ao componente aleatório e que, ao mesmo tempo, possibilita restringir o intervalo de variação dos valores preditos de acordo com os possíveis valores observados da variável resposta.

A forma da família exponencial, de acordo com Cordeiro e Demétrio (2008), considerada nos modelos lineares generalizados pode ser expressa por:

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

onde  $b(\cdot)$  e  $c(\cdot)$  são funções conhecidas,  $\theta$  geralmente um parâmetro de localização e  $\phi$  um parâmetro de dispersão, ou seja,  $\phi^{-1}$  um parâmetro de precisão. Assim ao propor o MLG, Nelder e Wedderbrun (1972), introduziram uma família de distribuições composta por distribuições contínuas, como é o caso da distribuição normal, gama e normal inversa, dentre outras, bem como por distribuições discretas, como é o caso das distribuições Poisson, Binomial e Binomial Negativa. Para todas essas distribuições é possível reescrever suas funções densidade e massa de probabilidade no formato da expressão (1), que representa a família exponencial.

Assim, para utilização de um MLG será necessário especificar uma distribuição de probabilidade que pertença à família exponencial para a variável resposta, conforme suas características. Além disso, será necessário especificar o conjunto de variáveis explicativas que estejam disponíveis, bem como uma função de ligação para estabelecer a relação funcional entre o valor esperado do componente aleatório e o componente sistemático.

Como o objetivo deste trabalho consiste na estimação do número de acidentes e de feridos em rodovias federais, serão ajustados os modelos Poisson e Binomial Negativa para a predição dessas variáveis. A modelagem será feita por meio da função 'glm', disponível no software R, que realiza a estimação dos parâmetros do modelo de acordo com o método de máxima verossimilhança. Para maiores detalhes sobre o processo inferencial dos MLG's, recomenda-se a leitura Cordeiro e Demétrio (2008).

Seja  $Y$  uma variável aleatória com distribuição de Poisson, com parâmetro  $\mu > 0 >$ ; então denota-se  $Y \sim \text{Poisson}(\mu)$  e função de probabilidade escrita na forma:

$$f(y; \mu) = \frac{e^{-\mu} \mu^y}{y!}, \quad y = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

A média e a variância de  $Y$  são dadas por  $E(Y) = Var(Y) = \mu$ . Pode-se demonstrar que a função de probabilidade da Poisson pode ser reescrita na forma da família exponencial na equação (1).

Seja  $Y$  uma variável aleatória com distribuição Binomial Negativa, com parâmetro  $\mu > 0$ ; então denota-se  $Y \sim BN(\mu, k)$  e função de probabilidade escrita na forma:

$$f(y; \mu, k) = \frac{\Gamma(k + y)}{\Gamma(k)\Gamma(y + 1)} \left(\frac{\mu}{\mu + k}\right)^y \left(\frac{k}{\mu + k}\right)^k, \quad y = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

A média e a variância são dadas por  $E(Y) = \mu$  e  $Var(Y) = \left(\frac{\mu + \mu^2}{k}\right)$ . Pode-se demonstrar, facilmente, que a função de probabilidade da Binomial Negativa pode ser reescrita na forma da família exponencial na equação (1).

#### 4 RESULTADOS

A partir disto, com uso do pacote 'glm' do software R, foram ajustados alguns modelos para cada distribuição (Poisson e Binomial Negativa), tomando como variável resposta o número de feridos e de acidentes na rodovias federais e como variáveis explicativas a região em que ocorreram os acidentes, o tipo de acidente, o número de pessoas atingidas nas campanhas educativas da PRF e como uma medida de exposição (offset), a quantidade de veículos registrados em cada macrorregião do país.

Inicialmente extraiu-se um resumo dos dados em relação às variáveis de interesse (número de feridos e de acidentes), conforme Tabela 4.

Tabela 4: Resumo do número de feridos e de acidentes de trânsito nas rodovias federais 2015-2020

	Min.	1 <sup>st</sup> Qu.	Median	Mean	3 <sup>rd</sup> Qu.	Max.	Desv.P
Número de Feridos	8	522	2.158	3.256	3.564	16.829	4.227,9
Número de Acidentes	65	559,2	1.992	3.389,2	3.413,5	23.909	4.466,6

Observou-se, portanto, que a variância está bem superior ao número médio de feridos e de acidentes, o que indica sobredispersão dos dados para contagem do número de feridos e de acidentes. Assim, uma vez que a distribuição de Poisson é equidispersa (variância igual à média) , conclui-se de maneira preliminar que esse modelo não se ajusta adequadamente aos dados.

Para certificação desta conclusão preliminar implementou-se o modelo com a distribuição Poisson com sua função de ligação canônica, excluindo do modelo a variável referente ao número de pessoas atingidas nas campanhas educativas da PRF, uma vez que esta demonstrou-se não significativa para explicar a variável resposta.

Como outra opção utilizou-se o modelo com distribuição Binomial Negativa para descrever as variáveis de interesse. Após o ajuste do modelo, incluindo todas as variáveis explicativas candidatas, concluiu-se que a variável referente ao número de pessoas atingidas nas campanhas educativas da PRF também não era significativa para o modelo.

Como o objetivo principal do trabalho consiste em verificar o efeito das campanhas educativas desenvolvidas pela Polícia Rodoviária Federal para redução do número de feridos e acidentes, uma segunda investigação nos dados foi realizada, encontrando-se uma possível inconsistência quanto ao número de pessoas atingidas na região Sudeste do Brasil. Dessa forma, para tentar capturar de algum modo o efeito das campanhas, a variável 'Ano' foi incluída como substituta para essa covariável, já que é possível perceber que o número de pessoas sensibilizadas nas campanhas realizadas pela PRF tem aumentado a cada ano, sendo acompanhado por uma tendência de decréscimo dos números de feridos e de acidentes.

Para avaliação do modelo, o banco de dados foi separado em dados para ajuste e dados para validação. Dessa forma, para essa validação cruzada, foram considerados para ajuste dos modelos apenas os dados do período de 2015 a 2018, a fim de comparar as estimativas com os dados observados para os anos de 2019 e 2020. A Figura 4 demonstra que o modelo estimou relativamente bem o número de feridos e de acidentes para os anos de 2019 e 2020.

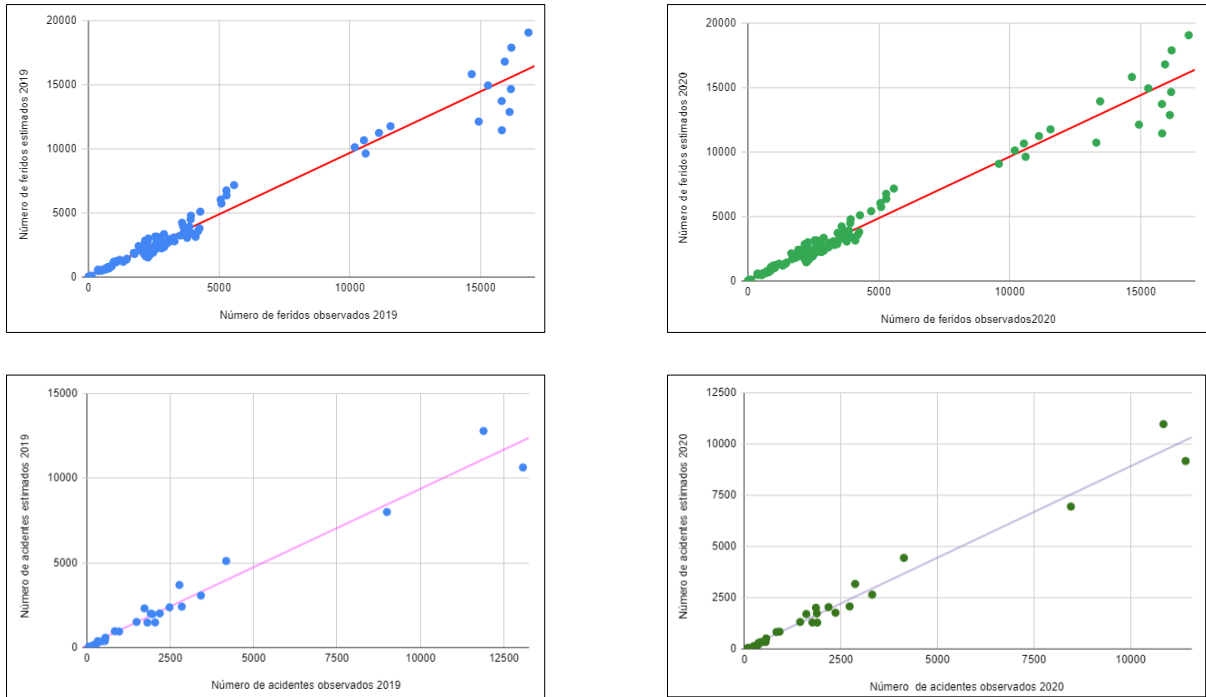


Figura 4: Dispersão do número de feridos e de acidentes estimados versus observados 2019 e 2020

Para avaliação dos modelos propostos, foi realizada uma análise de resíduos de ambos os modelos. Para uma boa adequação do modelo, espera-se que a maioria dos resíduos estejam dentro dos envelopes. Dessa forma, o resultado da modelagem com a distribuição Binomial Negativa confirmou a adequação desta distribuição para os dados. As Figuras 5 e 6 demonstram que em relação ao número de feridos e de acidentes, respectivamente, apenas 6% e 18% dos resíduos componentes de desvio da distribuição Binomial Negativa ficaram fora dos envelopes, enquanto que para a distribuição Poisson a porcentagem fora dos envelopes foi de 100%, para ambas variáveis.

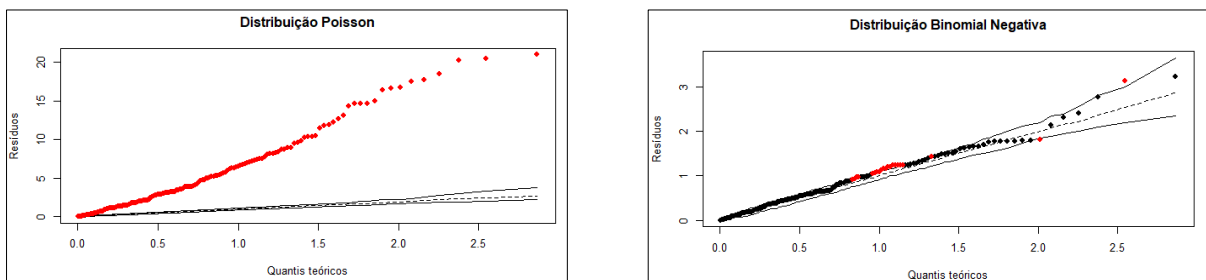


Figura 5: Envelopes para os resíduos componentes de desvio do número de feridos para as distribuições Poisson e Binomial Negativa

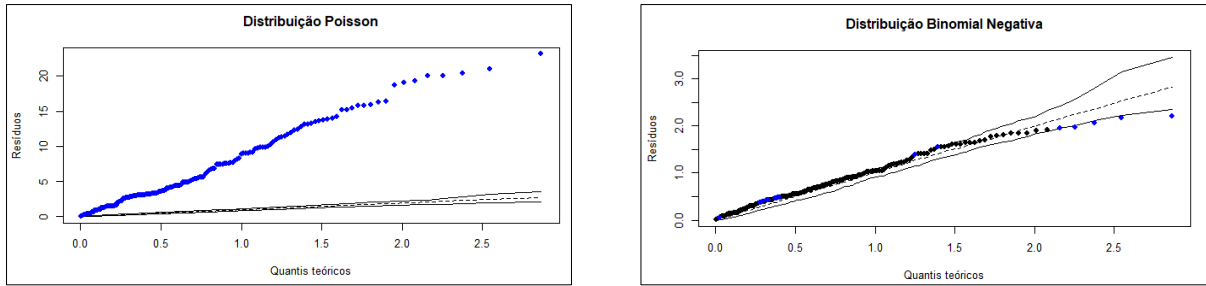


Figura 6: Envelopes para os resíduos componentes de desvio do número de acidentes para as distribuições Poisson e Binomial Negativa

A dispersão dos modelos para estimação do número de feridos e de acidentes confirma a adequação do modelo com a distribuição Binomial Negativa, pois demonstra que a modelagem estimou relativamente bem as variáveis de interesse deste trabalho, conforme representado na Figura 7.

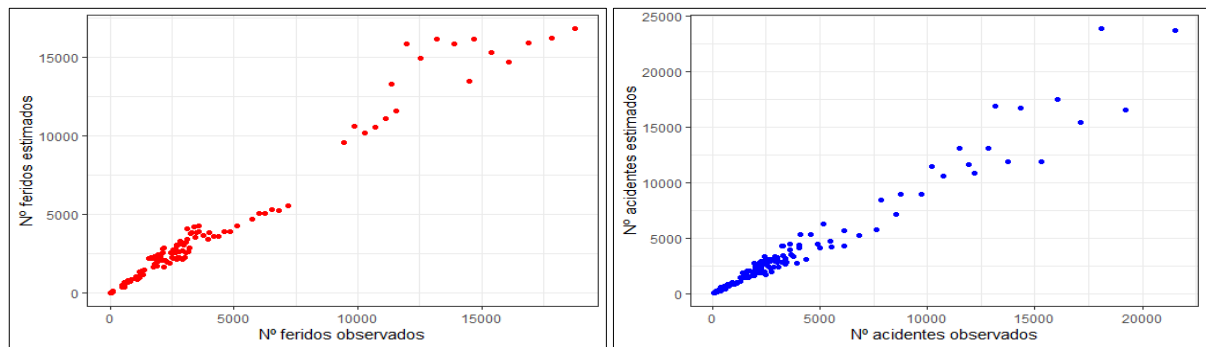


Figura 7: Dispersão do número de feridos e de acidentes estimados versus observados

Aplicando a metodologia de média simples para o crescimento da frota nacional, estimou-se que para os anos de 2022 e 2023 a frota nacional de veículos seria acrescida em 4,2% a cada ano, conforme Tabela 5.

Tabela 5: Crescimento estimado da frota de veículos para 2022 e 2023

	2021	2022	2023	Crescimento percentual
Centro Oeste	10.557.521	11.050.344	11.566.171	9,55%
Nordeste	19.591.850	20.601.618	21.663.429	10,57%
Norte	6.066.551	6.409.947	6.772.781	11,64%
Sudeste	53.415.489	55.415.510	57.490.416	7,63%
Sul	21.815.459	22.657.841	23.532.751	7,87%

A implementação do modelo com distribuição Binomial Negativa estabeleceu a estimação dos coeficientes para a modelagem do número de feridos e de acidentes, conforme Tabelas 6 e 7.

Tabela 6: Estimativas para o número de feridos com o modelo Binomial Negativa

Coeficiente	Estimador	Erro Padrão	Teste z	p-valor
Intercepto	-7,769	0,046	-169,71	<0,001
Centro Oeste	0,703	0,044	15,84	<0,001
Nordeste	0,584	0,044	13,27	<0,001
Norte	0,459	0,045	10,13	<0,001
Sul	0,654	0,044	14,93	<0,001
Atropelamento	-1,660	0,042	-39,04	<0,001
Capotamento	-1,691	0,042	-39,76	<0,001
Danos Eventuais	-5,259	0,051	-103,76	<0,001
Saída de Pista	-1,302	0,042	-30,68	<0,001
Ano	-0,083	0,008	-10,06	<0,001

Tabela 7: Estimativas para o número de acidentes com o modelo Binomial Negativa

Coeficiente	Estimador	Erro Padrão	teste z	p-valor
Intercepto	-7,632	0,048	-158,60	<0,001
Centro Oeste	0,738	0,046	16,10	<0,001
Nordeste	0,578	0,046	12,65	<0,001
Norte	0,394	0,046	8,47	<0,001
Sul	0,726	0,045	15,92	<0,001
Atropelamento	-1,673	0,045	-36,77	<0,001
Capotamento	-1,670	0,045	-36,70	<0,001
Danos Eventuais	-3,397	0,046	-72,59	<0,001
Saída de Pista	-1,255	0,045	-27,64	<0,001
Ano	-0,146	0,008	-17,07	<0,001

Os resultados obtidos poderão servir como métrica para o desenvolvimento de ações focadas na redução do número de feridos e acidentes de trânsito no âmbito das rodovias federais para os próximos anos.

#### 4.1 RELATIVIDADES DO NÚMERO DE FERIDOS E DO NÚMERO DE ACIDENTES DE TRÂNSITO NAS RODOVIAS FEDERAIS PARA O TRIÊNIO 2021 – 2023

As relatividades referem-se à comparação entre a quantidade de eventos estimados em relação a categoria base do modelo, que no presente trabalho é representado por: região ‘Sudeste’ e tipo de acidente ‘Colisão’.

Considerando o modelo proposto, pode-se analisar as relatividades referentes ao número de feridos e de acidentes por região e tipo em relação ao grupo de referência (baseline), definido como: região sudeste e tipo de acidente colisão. Espera-se, por exemplo que a região Sul registre 21% de feridos a menos que a região Sudeste. Em relação ao número de acidentes por tipo de acidente, por exemplo, espera-se que as vítimas feridas nos atropelamentos sejam 80% a menos que nas colisões, conforme Tabela 8.

Tabela 8: Relatividades dos números de feridos e de acidentes

Covariáveis	Relatividades	
	Feridos	Acidentes
Centro Oeste	0,40	0,41
Nordeste	0,66	0,65
Norte	0,18	0,17
Sul	0,79	0,84
Atropelamento	0,19	0,19
Capotamento	0,18	0,19
Danos Eventuais	0,01	0,03
Saída de Pista	0,27	0,29

Então, considerando a frota estimada para os anos de 2022 e 2023 utilizou-se do modelo Binomial Negativo para estimar o número de feridos e de acidentes para o triênio 2021 – 2023. Os resultados apresentados nas Tabelas 9 e 10, por tipo de acidente e por região, apontam para redução de ambas variáveis.

Tabela 9: Estimativa do número de feridos e acidente em rodovias federais por tipo de acidente (2021 - 2023)

Tipo	2021		2022		2023	
	Acidentes	Feridos	Acidentes	Feridos	Acidentes	Feridos
Colisão	33.205	41.463	29.929	39.809	26.978	38.221
Atropelamento	6.232	7.884	5.617	7.569	5.063	7.267
Capotamento	6.251	8.146	5.634	7.338	5.079	7.046
Danos Eventuais	1.111	216	1.002	207	903	199
Saída de Pista	9.466	11.278	8.532	10.827	7.691	10.396

Tabela 10: Estimativa do número de feridos e acidente em rodovias federais por região (2021 - 2023)

Região	2021		2022		2023	
	Acidentes	Feridos	Acidentes	Feridos	Acidentes	Feridos
Sudeste	18.269	22.661	16.379	21.637	14.684	20.659
Centro Oeste	7.553	9.046	6.832	8.715	6.179	8.395
Nordeste	11.944	14.904	10.854	14.424	9.863	13.960
Norte	3.077	3.631	2.809	3.961	2.565	3.851
Sul	15.421	18.744	13.841	17.014	12.423	16.264

Destaca-se que as estimativas do modelo para o triênio 2021 - 2023 apontam para uma tendência de redução para o número de feridos e de acidentes, contudo, a relação destas variáveis, tomada ano a ano, indica tendência de crescimento, o que pode ser observado também nos dados observados no período de 2015 a 2020, conforme Tabela 11.

Tabela 11: Razão entre número de feridos e de acidente em rodovias federais

Ano	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Razão	0,739	0,899	0,941	1,106	1,172	1,125	1,226	1,296	1,381

## 5 CONCLUSÕES

O modelo de regressão Binomial Negativa com função de ligação canônica (log), após comparação com o modelo Poisson e em função dos dados observados no período de 2015 a 2020, demonstrou-se o mais adequado para modelar o número de feridos e de acidentes de trânsito no âmbito das rodovias federais para o triênio 2021 – 2023.

A indisponibilidade de dados acerca da frota de veículos circulante por região a cada ano limitou a modelagem para estimação do número de feridos e de acidentes de trânsito nas rodovias federais. Uma medida de exposição mais adequada ao risco de acidente seria a contagem dos veículos circulantes nas rodovias federais num determinado período em cada região do país. Como sugestão de trabalhos futuros, poderia-se utilizar os equipamentos de contagem de veículos instalados nas praças de pedágios para reaplicação da metodologia abordada neste trabalho.

Em que pese a variável “Pessoas Atingidas”, que representa o número de pessoas abordadas e sensibilizadas nas campanhas educativas desenvolvidas pela PRF, não ter sido considerada significativa para o modelo, não sugere que a sensibilização de pessoas para um trânsito seguro não seja importante para a redução dos acidentes e das vítimas destes.

Na verdade o efeito desta variável não foi captado pelo modelo, mas empiricamente pode-se concluir que ela contribuiu para a redução no número de acidentes que vem sendo observado a cada ano do período pesquisado 2015-2020. Isso pode ser comprovado pelo efeito da inclusão da variável ‘Ano’. Ademais, a vista do tipo de acidente que mais contribui para a produção de vítimas feridas, no caso o tipo ‘Colisão’, a abordagem e sensibilização de condutores torna-se ainda mais relevante, pois este acidente está estritamente relacionado ao comportamento do condutor na condução do veículo.

Observou-se redução do número de feridos e de acidentes nas rodovias federais, contudo, há de se ressaltar a necessidade de maior atenção ou até mesmo uma investigação acerca da relação de feridos por acidentes, que desde a análise dos dados do período observado (2015-2020) vem apontando uma tendência de crescimento, corroborada nas estimativas do modelo para o triênio 2021-2023.

Segundo os resultados do modelo proposto, depreende-se que as campanhas desenvolvidas pela PRF para o triênio 2021-2023 merecem contemplar especial atenção para:

- a) As ações desenvolvidas nas regiões Sudeste e Sul, pois são estas as responsáveis pela maior parte dos feridos e dos acidentes no âmbito das rodovias federais, embora estas não representem as maiores variações na frota de veículo para o período, mas presumidamente concentra a maior frota circulante;
- b) As ações de sensibilização de condutores e passageiros para os riscos de ocorrência de acidente do tipo 'Colisão', que engloba as colisões dos tipos frontal, traseira, lateral, com bicicleta, com objeto físico, com objeto móvel e engavetamento, pois este evento está estritamente relacionado com o comportamento do condutor do veículo, representa aquele com maior frequência e também, pela sua natureza e dinâmica, é um evento que potencializa o aumento de vítimas feridas e afeta diretamente a relação de feridos por acidente.

A redução do número de feridos e de acidentes no âmbito das rodovias federais demonstram que as campanhas educativas desenvolvidas pela PRF tem alcançado resultados positivos e merecem ser consideradas como ferramentas de suma importância para um trânsito mais seguro e por consequência, por exemplo, para redução dos impactos financeiros referentes ao atendimento e tratamentos de feridos no SUS.

Com base nos resultados do modelo proposto, poderia-se estabelecer planejamentos focados para o desenvolvimento de ações nas regiões que concentram os maiores números de feridos e de acidentes, bem como desenvolver as estratégias existentes para sensibilizar os usuários das rodovias quanto aos riscos de envolvimento nos tipos de acidentes mais recorrentes nas rodovias federais. Os resultados alcançados neste trabalho poderá permitir a estimação e otimização dos diversos recursos empregados nas campanhas educativas para um trânsito seguro, com vistas à contínua redução do número de feridos e de acidentes na rodovias federais.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE,S;JORGE,M. Internações hospitalares por lesões decorrentes de acidente de transporte terrestre no Brasil, 2013: permanência e gastos. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Distrito Federal, 2017.DOI: <https://doi.org/10.5123/S1679-49742017000100004>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ress/a/xHmSZ7cj9NPDyjFm5LCQRhB/?lang=pt&format=html>. Acesso em 20 jul. 2022.

BACCHIERI,G;BARROS,A. Acidentes de trânsito no Brasil de 1993 a 2010: muitas mudanças e poucos resultados. **Revista Saúde Pública**,Pelotas, v.45, p:949-963, 2011. Disponível em: <https://www.scielosp.org/pdf/rsp/v45n5/2981.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2022.

BATISTA,M; MYRRHA,L. Uma análise dos custos gerados pelos acidentes de trânsito no Brasil ao Sistema Único de Saúde e o seu financiamento pelo seguro DPVAT (2055-2011). **Revista Debate Econômico**, Varginha v.4, n.1, p:78-92, 2016. Disponível em: <https://publicacoes.unifal-mg.edu.br/revistas/index.php/revistadebateeconomico>. Acesso em: 15 maio 2022.

CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA. Em dez anos, acidentes de trânsito consomem quase R\$ 3 bilhões do SUS, 2017. Disponível em: <https://portal.cfm.org.br/noticias/em-dez-anos-acidentes-de-transito-consomem-quase-r-3-bilhoes-do-sus/>. Acesso em: 19 jun. 2022.

CORDEIRO,M;DEMÉTRIO,G. Modelos lineares generalizados e extensões. São Paulo, Universidade de São Paulo, 2008.

COSTA, J. Os impactos econômico-financeiros do ressarcimento ao SUS para as operadoras de planos de saúde, Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br>. Acesso em 20 abr. 2022.

FERNANDE,A. Campanhas educativas sobre o trânsito: uma política pública em evolução. Escola de Administração de Empresas de São Paulo. Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2016.

HOFFMANN, M. Comportamento do condutor e fenômenos psicológicos. **Psicologia: Pesquisa & Trânsito**, Florianópolis, v.1, n.1, p: 17-24, 2005. Disponível em: <http://pepsic.bvsalud.org/pdf/ppet/v1n1/v1n1a04.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2022.

INFORME TÉCNICO INSTITUCIONAL. Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo. O impacto dos acidentes e violências nos gastos da saúde. **Revista Saúde Pública**,Pelotas, v.40, p:553-556, 2006. Disponível em: <https://www.scielosp.org/pdf/rsp/v45n5/2981.pdf>. Acesso em: 02 maio 2022.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Relatório de Pesquisa, 2015. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_alphacontent&view=alphacontent&Itemid=365&limitstart=100](https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_alphacontent&view=alphacontent&Itemid=365&limitstart=100). Acesso em 28 jun. 2022.

LEI Nº 9.656, de 3 de junho de 1998. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19656.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19656.htm). Acesso em 24 jun. 2022

MARTINS,R. O seguro DPVAT e a MP 340/2006 (Lei nº 11.482/2007), 2010. Disponível em: <https://www.segurodpvat.com/site/artigos/35-artigos/64-o-seguro-dpvat-e-a-medida-provisoria-3402006-lei-no-114822007>. Acesso em 12 jun. 2022.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. Estatística – Frota de Veículos – SENATRAN. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/estatisticas-frota-de-veiculos-senatran>. Acesso em: 10 jun. 2022.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. DATASUS. Morbidade Hospitalar do SUS - por local de residência - Brasil. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br>. Acesso em 18 abr. 2022.

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, Wiley Online Library, v. 135, n. 3, p. 370–384, 1972.

OBSERVATÓRIO NACIONAL DE SEGURANÇA VIÁRIA. Disponível em: <https://www.onsv.org.br/estudos-e-pesquisas/>. Acesso em: 10 jun.2022.

ODERO, W., GARNER, P.;ZWI, A.Road Traffic Injuries in Developing Countries: A Comprehensive Review of Epidemiological Studies. **Tropical Medicine & International Health**, V. 2, P: 445-460, 1997. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3156.1997.tb00167.x>

PEREIRA, F. Modelos Lineares Generalizados com distribuições de Poisson e Binomial Negativa para avaliar a relação entre poluentes atmosféricos e internações mensais por doenças respiratórias. Universidade Federal de São Paulo, São José dos Campos, 2022.

POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL. Dados abertos de acidentes de trânsito (2015 - 2019). Disponível em: <https://www.gov.br/prf/pt-br>. Acesso em: 10 jun. 2022.

TISCHER,V. O custo social e econômico dos acidentes de trânsito com pedestre e ciclistas: estudo de caso do estado de Santa Catarina, Brasil, **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v.11, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/cp8SjXbPWfXZM8vm8d5tkqt/?lang=pt>. Acesso em: 25 jun. 2022.

VIANNA, F. Sinistralidade das operadoras de planos privados de assistência à saúde médico-hospitalar: determinação dos fatores associados a esse índice e seus efeitos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.