



# Fatores Associados à Incidência de Óbitos em Acidentes de Trânsito nas Rodovias Federais do Estado de Santa Catarina, Brasil



Wellington Borba Broering

wellington.bb@posgrad.ufsc.br

Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8320-5842>

Francieli Schoenhals Delayv

fran.delayv@hotmail.com

Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7105-3586>

Andrea Cristina Konrath

andreack@gmail.com

Departamento de Informática e Estatística, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3742-5032>

Luiz Ricardo Nakamura

luiz.nakamura@ufsc.br

Departamento de Informática e Estatística, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7312-2717>

Vera do Carmo Comparsi de Vargas

veradocarmo@gmail.com

Departamento de Informática e Estatística, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1961-9546>

Recibido: 17 de junio de 2020. Aceptado: 15 de noviembre de 2021.

## RESUMO

A presente pesquisa buscou investigar, por meio de um modelo de regressão logístico, como determinados fatores podem contribuir para a ocorrência de acidentes fatais em rodovias federais do estado de Santa Catarina - Brasil. Para tal, foram utilizados dados públicos da Polícia Rodoviária Federal sobre acidentes ocorridos no período de 2007 a 2018. O modelo logístico final permitiu estabelecer a razão de chances das principais categorias dentro das variáveis condição meteorológica, fases do dia, causas do acidente, tipo de acidente e traçado da via. Fatores como colisão frontal, atropelamento, amanhecer, causa viária/ambiental e condições ensolaradas foram os mais representativos nesse contexto. Elementos associados à falta de canteiros centrais e passarelas para pedestres, baixa visibilidade durante a condução e fadiga ao volante foram grandes

contribuintes para o aumento da gravidade das colisões. As maiores razões de chances para os fatores viário/ambiental e condição ensolarada foram considerados resultados inesperados, indo de encontro à premissa de que o fator humano e condições de pista molhada contribuem mais significativamente para a ocorrência de óbitos. A falta de informações sobre a condição da pista no momento do acidente, o volume de tráfego das rodovias e o tipo de veículo foram fatores limitantes para o estudo.

**Palavras-chave:** *Modelo de regressão logística. Acidentes de trânsito. Óbitos em rodovias federais. Estado de Santa Catarina. Dados públicos da Polícia Rodoviária Federal.*

## Factors Associated with the Incidence of Deaths in Traffic Accidents on Federal Highways in the State of Santa Catarina - Brazil

### ABSTRACT

The present research sought to investigate, through a logistic regression model, how certain factors can contribute to the occurrence of fatal accidents on federal highways in the state of Santa Catarina -Brazil. Thus, public data from the Federal Highway Police on accidents that occurred from 2007 to 2018 were used. The final logistic model allowed to establishment the odds ratio of the main categories among the variables of meteorological condition, phases of the day, causes of the accident, type of accident and route layout. Factors such as frontal collision, run over, dawn, road/environmental cause and sunny conditions were the most representative in this context. Elements associated with the lack of central medians and pedestrian walkways, low visibility while driving and fatigue at the steering wheel were major contributors to the increased severity of collisions. The greatest odds ratios for the road/environmental factors and sunny condition were considered unexpected results, against the premise that the human factor and wet conditions contribute more significantly to the occurrence of deaths. The lack of information about the condition of the road at the time of the accident, the volume of traffic on the highways and the type of vehicle were limiting factors for the study.

**Keywords:** *Logistic regression model. Traffic-accidents. Deaths on federal highways. Santa Catarina state. Public data from the Federal Highway Police.*

**Palabras clave:** *Modelo de regresión logística. Accidentes de tráfico. Muertes en las carreteras federales. Estado de Santa Catarina. Datos públicos de la Policía Federal de Caminos.*

### INTRODUÇÃO

O número de veículos em circulação no Brasil elevou-se exponencialmente. De acordo com dados da Confederação Nacional do Transporte - CNT (2018), o crescimento da frota de veículos foi de 82,4% em relação ao total nos últimos 10 anos, considerando o espectro de 2008 a 2018, com uma evolução não proporcional em investimentos no mesmo período de tempo. Necessita-se de R\$ 496,1 bilhões em 981 projetos de infraestrutura para adequar a malha rodoviária brasileira, um montante 71 vezes maior do que o autorizado para todas as intervenções de infraestrutura de transporte rodoviário pelo governo federal no ano de 2018, a saber R\$ 6,92 bilhões (CNT, 2018).

Em contrapartida, estima-se que em 2016, aproximadamente 1,35 milhão de pessoas perderam a vida em acidentes de trânsito, sendo que, do total de feridos, o número de incapacitados pode chegar a 50 milhões (WHO, 2018). Sobretudo, os acidentes de trânsito são um problema global de saúde pública e de desenvolvimento. As lesões ocorridas

no trânsito estão entre as principais causas de mortalidade de jovens no mundo, com o maior índice na faixa de 15 a 29 anos e a segunda posição ocupada pela faixa de 5 a 14 anos (WHO, 2018). Conforme o Conselho Federal de Medicina -CFM, no Brasil, a cada 60 minutos, em média, pelo menos cinco pessoas morrem vítimas de acidente de trânsito, chegando a mais de 1,6 milhão de feridos nos últimos dez anos a um custo direto de quase R\$ 3 bilhões para o Sistema Único de Saúde - SUS (CFM, 2019).

Caixeta et al. (2010) destacam a minimização do número de acidentes de trânsito como um grande desafio de saúde pública. Para tanto, são necessárias pesquisas aprofundadas e fundamentadas para melhorar a compreensão do problema, subsidiando assim a elaboração de estratégias de prevenção.

Estratégias para conter esse crescimento das estatísticas têm se mostrado bastante eficientes, sendo que países como Estados Unidos, Bélgica e Espanha conseguiram alcançar índices de redução de 20%, 30% e 80%, respectivamente. Comparando-se com a realidade brasileira, os estadunidenses apresentam uma frota de veículos seis vezes maior, com uma população 70% superior e uma mortalidade 34% menor (Czerwonka, 2017 apud Simon e Hallal, 2018).

O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada do Brasil -IPEA mostrou que, em rodovias federais, existe um ônus de 12,3 bilhões de reais com acidentes todos os anos, e o custo estimado para rodovias estaduais é de cerca de 24,8 a 30,5 bilhões (IPEA, 2015).

WHO (2018) aponta que, no ano de 2016, o Brasil foi o terceiro país com a maior quantidade de mortes registradas por acidente de trânsito em número absolutos, com 38.651 vítimas, conforme indicado pelo Quadro 1. Em valores proporcionais é o primeiro colocado, quando observado o índice de mortes a cada 100 mil habitantes, com uma taxa de 18,61 em comparação com os outros cinco países com maiores registros de acidentes de trânsito.

Quadro 1. Países com maiores registros de mortes no ano de 2016. Fonte: Adaptado de Who (2018).

	Índia	China	Brasil	Estados Unidos	Indonésia
<b>Mortes relatadas em 2016 (números absolutos)</b>	150.785	58.022	38.651	35.092	31.282
<b>Índice de mortes a cada 100 mil habitantes em 2016</b>	11,39	4,11	18,61	10,89	11,98

Conforme indica Figueira et al. (2017), os acidentes podem ser reduzidos significativamente, sendo a provável identificação das causas o primeiro passo na adoção de medidas preventivas para diminuir o número e a gravidade desses incidentes. Compreender os eventos e os fatores que influenciam a ocorrência de acidentes de trânsito em uma malha viária é extremamente complexo devido ao elevado número de fatores que devem ser respeitados para a análise da interferência nesses acontecimentos. Os estudos de influência rodoviária e ambiental em acidentes de trânsito podem ser utilizados como referência para as especificações de reestruturação e atualização, normas de projetos de segurança e engenharia viária (DNIT, 2009).

Sendo assim, este estudo tem como objetivo avaliar a contribuição de determinadas variáveis explicativas para a ocorrência de acidentes fatais em rodovias federais do estado de Santa Catarina, considerando o banco de dados de acidentes disponibilizado pela Polícia Rodoviária Federal - PRF para os anos de 2007 a 2018 (PRF, 2019). Para tal, busca-se determinar, por meio de um modelo de regressão logística, como certas características observadas no momento dos acidentes nas rodovias federais catarinenses podem efetivamente contribuir no aumento do número de óbitos nessas localidades.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### Acidentes de trânsito

Nodari (2003) aponta que os principais fatores contribuintes para a ocorrência de um acidente de trânsito estão agrupados em três componentes: humano, veicular e viário-ambiental. Gold (1998) acrescenta um quarto fator denominado institucional/social. O Quadro 2 exemplifica alguns dos principais fatores que integram os quatro grandes componentes citados.

Quadro 2. Principais fatores que integram os quatro grandes componentes contribuintes para a ocorrência de acidentes de trânsito. Fonte: Adaptado de Ferraz et al. (2012).

Componente	Fatores
Humano	Velocidade inapropriada, ingestão de álcool/drogas e/ou medicamentos, cansaço e sonolência, conduta perigosa, falta de habilidade, desvio de atenção e “não ver e não ser visto”
Viário/Ambiental	Defeitos na superfície de rolamento, projeto geométrico inadequado, sinalização deficiente, interseções inadequadas, problemas na lateral da via e falta de iluminação na lateral da via Chuva, neve, vento forte, neblina, fumaça, óleo ou outro material lubrificante sobre a pista, propaganda comercial
Veicular	Manutenção inadequada, tipo de veículo, projeto dos veículos e visibilidade
Institucional	Legislação e fiscalização

A maior parcela na ocorrência de um acidente de trânsito se dá pelo componente humano, seguido da combinação dos componentes humanos e viários/ambientais (Thomazi, 2018). No estudo realizado por Iqbal et al. (2020), os autores constataram que 66,8% das colisões são atribuídas para os fatores humanos, 25,6% são referentes aos veículos e 7,6% aos fatores ambientais. Ainda, uma pesquisa realizada no Brasil indica que 37% dos acidentes que ocorrem apresentam um fator contribuinte envolvendo a via/meio ambiente (Ferraz et al., 2012).

Sobretudo, a redução da ocorrência ou da gravidade dos acidentes de trânsito pode acontecer com o tratamento ou a adequação dos fatores previsíveis. Conforme indica Figueira et al. (2017), os acidentes podem ser reduzidos significativamente, e a provável identificação das causas constitui o primeiro passo na adoção de medidas preventivas para diminuir o número e a gravidade desses incidentes. Compreender os eventos e os fatores que influenciam a ocorrência de acidentes de trânsito em uma malha viária é extremamente complexo devido ao elevado número de fatores que devem ser respeitados para a análise da influência nesses acontecimentos. Os estudos de influência rodoviária e ambiental em acidentes de trânsito podem ser utilizados como referência para as especificações de reestruturação e atualização, normas de projetos de segurança e engenharia viária (DNIT, 2009).

### Impacto das condições meteorológicas na gravidade dos acidentes

Embora não se possa dizer que a chuva cause acidentes, esse fenômeno meteorológico resulta em diversos perigos para a direção (Mondal et al., 2011), por isso, é necessária uma análise mais específica e detalhada para revelar esses fatores complexos. As

condições de chuva e de pavimento molhado nas estradas são citadas como um dos fatores mais significativos relacionados ao clima, responsáveis pelo aumento da probabilidade de uma colisão (Edwards, 1999; Mondal et al., 2011). Um estudo realizado em seis cidades canadenses mostrou um aumento de 45% nas lesões resultantes de fatores relacionados à chuva ao longo de um período de quatro anos, de 1995 a 1998 (Andrey et al., 2003).

De acordo com a autoridade de segurança de transporte da Coreia, o número total de mortes em acidentes de trânsito no país diminuiu, mas as mortes na estrada aumentaram de 430 em 2013 para 463 em 2016. Em particular, na cidade de Seul, as taxas de mortalidade em dias chuvosos foram os mais altos de todas as cidades (Koroad, 2016). Ainda, Hordofa et al. (2018), em suas avaliações sobre a magnitude da fatalidade e dos fatores associados a acidentes de trânsito na cidade de Byrayu, na Etiópia, observaram que a maior parte dos acidentes fatais (48%) ocorre na condição seca, seguida pela condição chuvosa (38%).

O tempo chuvoso tem o potencial de afetar as condições da superfície da estrada e o comportamento do motorista (Jung, Qin e Noyce, 2010). Durante uma tempestade, a profundidade da água na superfície da estrada pode causar uma redução na resistência à derrapagem e aumentar a probabilidade de acidentes (Kabbach, Suzuki e Trentin, 2011). As condições de estradas molhadas em pistas com uma inclinação descendente de 3% ou mais estão intimamente associadas com o número e a gravidade dos acidentes de trânsito (Park, Hong e Lee, 2010). Essas condições contribuem para uma parcela considerável de acidentes graves devido a uma combinação de fatores negativos (Fridstrom et al., 1995; Edwards, 2002). Estudos anteriores provaram que os acidentes de trânsito poderiam ser fortemente afetados por fatores relacionados à chuva (Lee, Chung e Son, 2008; Bae, Ahn e Chung, 2013).

Apesar disso, Lee et al. (2018) apresentaram que a chuva não é um fator exclusivo para a ocorrência de acidentes fatais, mas sim uma combinação com outras características como a profundidade da água, a intensidade da chuva e o comprimento da drenagem, sendo que maiores intensidades de chuva, maior comprimento da drenagem e maior profundidade da água têm efeitos que contribuem para aumentar a gravidade dos acidentes. De acordo com os autores, acidentes de trânsito que ocorrem em condições de estrada molhada devem ser analisados com profundidade.

Theofilatos (2017) aponta, em relação aos efeitos do clima na gravidade do acidente, que a influência da chuva geralmente leva a achados contraditórios, pois a literatura as vezes indica correlação positiva (Caliendo, Guida e Parisi, 2007), negativa (Theofilatos, Graham e Yannis, 2012) ou mesmo nenhum efeito significativo (Sherretz e Farhar, 1978). Jung, Qin e Noyce (2010) investigaram a gravidade de acidentes dos veículos em Wisconsin e descobriram que o aumento da intensidade da chuva quinze minutos antes do acidente aumenta a gravidade do acidente, enquanto que a velocidade do vento foi responsável por acidentes menos graves.

## **Influência da fase do dia na ocorrência de acidentes**

Além da condição meteorológica, outro fator que pode influenciar significativamente na ocorrência de acidentes fatais nas estradas é a fase do dia, pois relaciona-se diretamente com a condição de atenção do condutor, luminosidade disponível e fadiga do motorista. Sobretudo, de acordo com Gonçalves (2018), o amanhecer do dia apresenta uma maior significância estatística na ocorrência de fatalidades em zonas rurais devido a maior

dificuldade no socorro às vítimas, seja pela ausência de policiamento e ambulâncias na região, seja pela maior distância dos centros hospitalares.

Zhang et al. (2016), ao analisarem os dados de acidentes de trânsito da província de Guangdong, na China, entre os anos de 2006 e 2010, constataram que dirigir no período noturno e sem a presença de iluminação pública aumenta a probabilidade de ocorrência de acidentes fatais, pois os motoristas gastam muita energia e prestam muita atenção à noite, o que induz a fadiga. Beirness, Simpson e Desmond (2005) observaram que a fadiga ao dirigir ocorre com frequência em períodos da madrugada, pois o risco de fadiga às 02:00 é 50 vezes maior do que o risco de dirigir às 10:00. Zhang et al. (2016) corroboram com esses resultados, constatando o maior risco de acidentes relacionados à fadiga durante a meia-noite até o amanhecer e nas primeiras horas da manhã.

Analogamente, Xuecai et al. (2018) verificaram que a baixa luminosidade é positivamente significativa para o aumento da taxa de acidentes com danos materiais e com mortos e feridos. Segundo os autores, a visibilidade durante o dia é muito melhor do que em plena noite, portanto, as chances de causar acidentes são maiores sob condições ambíguas de luz natural. Além disso, constatou-se que a probabilidade de haver mortes e feridos é um pouco maior em situação de baixa visibilidade em comparação com a visibilidade durante o dia. Da mesma maneira, Anarkooli e Hosseinlou (2016), Uddin e Huynh (2017) e Wei et al. (2017) também obtiveram resultados semelhantes, que sugerem que os níveis de gravidade da lesão são contribuídos de acordo com diferentes condições de iluminação.

Por fim, Wang et al. (2019b) concluíram que a condução noturna é fatal e causa um alto nível de gravidade, principalmente entre os períodos de 02:00 a 05:00. De acordo com os autores, apesar desse tipo de condução ser permitida, há uma necessidade urgente de regulá-la melhor, começando pela imposição de restrições ao horário de condução noturna nas vias expressas, pois são bem monitoradas e com um limite de velocidade mais alto.

## Tipos de acidentes de trânsito

Conforme Gonçalves (2018), os tipos de acidentes mais comuns e fatais envolvendo veículos são a colisão frontal e o atropelamento, sendo os maiores responsáveis pela perda de vidas humanas nas rodovias e estradas federais do estado do Ceará, no Brasil, no período entre 2008 e 2017. Essa condição é confirmada com os dados do IPEA (2015), observando-se que, em 2014, em rodovias e estradas federais no Brasil, a colisão frontal foi responsável por 33,7% das mortes em acidentes de trânsito, enquanto que o atropelamento de pessoas foi de 14,6%.

Por sua vez, Seijas et al. (2018) constataram que, na avaliação de lesões moderadas ou graves ocorridas em acidentes de trânsito na região metropolitana de Medellín, na Colômbia, entre os anos de 2015 e 2016, 73,6% das lesões ocorreram por atropelamento, sendo que 71,2% eram pedestres, e nos 60,7% dos casos uma motocicleta estava envolvida, contribuindo para a diminuição significativa da qualidade de vida e capacidade motora.

Sobretudo, essa condição ressalta que os pedestres são os usuários mais vulneráveis nas estradas, e essa preocupação segue sendo um problema crítico e que requer investigação urgente. Dados da China mostram que cerca de 20,73% de todos os acidentes de trânsito na China ocorrem com pedestres, resultando em 13.965 mortes e 38.209

feriados, com um ônus de 128 milhões de yuans (Wang et al., 2019a; Wang et al., 2019c; Tan et al., 2021).

Ainda, Hosseinpour, Yahaya e Sadullah (2014), ao avaliarem os efeitos de vários desenhos geométricos de estradas, ambientes e características de tráfego a partir de diversos modelos de regressão de dados de contagem, perceberam uma representação excessiva de colisões frontais em comparação com outros tipos de colisão, justamente pela alta velocidade relativa que os veículos em direções opostas apresentam. Segundo os autores supracitados, essas condições não permitem que os motoristas tenham tempo suficiente para evitar uma colisão. A partir disso, a probabilidade dos envolvidos apresentarem ferimentos graves é mais alta do que nas outras condições, o que contribui para a elevada estatística de vítimas fatais em colisões frontais.

Ademais, Bham, Javvadi e Manepalli (2012) também destacaram que as colisões frontais estão associadas a um maior risco de acidentes com ferimentos graves, principalmente em rodovias não divididas, em função da ausência de um canteiro central. De acordo com Kim, Washington e Oh (2006), rodovias não divididas são mais propensas à ocorrência de colisões frontais, visto que fornecem distâncias mínimas de recuperação (tempo) e refúgio para os veículos.

## **Traçado da via como fator contribuinte para a ocorrência de colisões veiculares**

Por fim, outra condição importante durante a análise da ocorrência de acidentes mortais em estradas é o traçado da via, também retratado como estrutura viária. Hordofa et al. (2018), ao investigarem a magnitude da fatalidade e dos fatores associados a acidentes de trânsito na cidade de Byrayu, na Etiópia, constataram um alto número de acidentes fatais em rodovias pouco curvas (41%) e curvas (16%), indicando que há uma maior probabilidade de incidentes com óbitos em estradas curvas do que em segmentos retos.

Da mesma forma, Elvik, Sagberg e Langeland (2019) desenvolveram um modelo de previsão de acidentes para pontes rodoviárias na Noruega e, ao investigarem 31 acidentes fatais de forma aprofundada, perceberam que as curvas horizontais estão entre os principais fatores que predizem esses fenômenos.

Contrapondo esses cenários, Gonçalves (2018), ao analisar a ocorrência de acidentes graves nas rodovias federais do estado do Ceará, no Brasil, considerando o período de 2008 a 2017, percebeu que a chance de fatalidade em acidentes graves foi 117% maior em curvas e 115% maior em retas no comparativo com o traçado da via em cruzamentos, o que indica um índice muito próximo entre os segmentos de curvas e retas.

Outrossim, ainda que Shah et al. (2019) não tenham encontrado problemas devido ao desenho da curva horizontal ao analisarem as autoestradas de Limburgo, na Holanda, Schneider et al. (2009) e Schneider, Savolainen e Moore (2010) indicaram que esses segmentos contribuem frequentemente para a ocorrência de acidentes em função das perspectivas dos motoristas, o que afeta os recursos de manuseio do veículo e corroboram para o aumento da fatalidade em acidentes nesse tipo de traçado.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Conjunto de dados

Os dados dos acidentes de trânsito nas rodovias federais encontram-se disponibilizados no portal de dados abertos da Polícia Rodoviária Federal (PRF, 2019). Optou-se por utilizar os dados dos acidentes, agrupados por ocorrência, disponíveis no período de 2007 a 2018 para o Estado de Santa Catarina (Brasil), totalizando 179.031 observações.

O principal objetivo deste artigo foi analisar a contribuição de determinadas características (ou fatores) para que um acidente de trânsito resulte em uma fatalidade (óbito). Para tal, utilizou-se como variável dependente (ou resposta) a própria classificação do acidente, originalmente dividida pelo banco de dados em três diferentes categorias: vítimas fatais; vítimas feridas e; sem vítimas. Devido ao interesse do presente estudo, as respostas foram classificadas em apenas duas categorias, a saber: vítimas fatais (categoria 1 - um) e; vítimas feridas e/ou sem vítimas (categoria 0 - zero). Estratégia similar foi adotada por Roquim et al. (2019) em seu estudo acerca da malha viária nacional. Contudo, uma das limitações para a presente pesquisa é a impossibilidade de controle da subnotificação de acidentes sem vítimas, visto que em situações que envolvem pouco ou nenhum dano material as autoridades policiais são pouco acionadas. Os Quadros 3 e 4 apresentam um resumo da base de dados utilizada no estudo, considerando os registros no período de 2007 a 2018 para as variáveis “Ano” e “Br”, respectivamente, sendo essa última a indicação do número da respectiva rodovia de nível federal.

Quadro 3. Base de dados da PRF para a análise dos acidentes com e sem vítimas fatais no período de 2007 a 2018, considerando o estado de Santa Catarina. Fonte: Adaptado de PRF (2019).

Ano	Sem Vítimas Fatais	Com Vítimas Fatais
2007	13.724 (7,666%)	464 (0,259%)
2008	14.682 (8,201%)	446 (0,249%)
2009	16.771 (9,368%)	454 (0,254%)
2010	18.382 (10,267%)	477 (0,266%)
2011	18.190 (10,160%)	515 (0,288%)
2012	17.315 (9,672%)	448 (0,250%)
2013	17.984 (10,045%)	418 (0,233%)
2014	17.188 (9,601%)	435 (0,243%)
2015	13.191 (7,368%)	371 (0,207%)
2016	9.878 (5,517%)	362 (0,202%)
2017	9.372 (5,235%)	291 (0,163%)
2018	7.390 (4,128%)	283 (0,158%)
<b>Total</b>	<b>174.067 (97,277%)</b>	<b>4.964 (2,723%)</b>
<b>Total Geral</b>	<b>179.031 (100,000%)</b>	



Quadro 4. Base de dados da PRF para a análise dos acidentes com e sem vítimas fatais nas rodovias federais do estado de Santa Catarina, considerando o período de 2007 a 2018. Fonte: Adaptado de PRF (2019).

BR	Sem Vítimas Fatais	Com Vítimas Fatais
101	85.527 (47,772%)	1.858 (1,038%)
116	8.050 (4,496%)	376 (0,210%)
153	2.231 (1,246%)	101 (0,056%)
158	652 (0,364%)	43 (0,024%)
163	1.609 (0,899%)	77 (0,043%)
280	13.476 (7,527%)	358 (0,200%)
282	30.480 (17,025%)	1.078 (0,602%)
470	31.207 (17,431%)	1.061 (0,593%)
475	1 (0,001%)	0 (0,000%)
480	833 (0,465%)	12 (0,007%)
486	1 (0,001%)	0 (0,000%)
<b>Total</b>	<b>174.067 (97,227%)</b>	<b>4.964 (2,773%)</b>
<b>Total Geral</b>	<b>179.031 (100,000%)</b>	

As características consideradas como potenciais influenciadoras da fatalidade em um acidente, observando o banco de dados retratado, foram: (1) condição meteorológica; (2) fases do dia; (3) causas do acidente; (4) tipo de acidente e; (5) traçado da via; (6) tipo de pista; (7) uso do solo; (8) dia da semana; (9) mês do ano e; (10) rodovia (BRs).

A categoria de condição meteorológica é classificada no banco de dados originalmente como: (i) céu claro; (ii) chuva; (iii) garoa/chuvisco; (iv) granizo; (v) neve; (vi) nevoeiro/neblina; (vii) nublado; (viii) sol e; (ix) vento. Na recodificação dessa variável, os eventos meteorológicos foram discriminados, neste estudo, da seguinte forma: (a) céu claro; (b) chuva; (c) nevoeiro/neblina; (d) sol e (e) outros, que compõem o agrupamento das demais condições não citadas.

Os principais fatores contribuintes para a categoria de causas do acidente foram agrupados em três componentes, seguindo a orientação de Gold (1998) e Nodari (2003). Assim, na reorganização dessa variável, no fator humano incluíram-se: falta de atenção a condução; não guardar distância de segurança; velocidade incompatível; desobediência à sinalização e às normas de trânsito; ingestão de álcool e outras substâncias psicoativas; ultrapassagem indevida; entre outras caracterizações. Já o fator veicular continha as seguintes categorias: defeito mecânico no veículo; avarias e/ou desgaste excessivo no pneu; deficiência ou não acionamento do sistema de iluminação/sinalização do veículo; entre outros. Por fim, o fator viário-ambiental abrangeu: pista escorregadia; restrição de visibilidade; sinalização da via insuficiente ou inadequada; entre outras especificações.

Com relação aos tipos de acidentes, esses foram subdivididos em novas categorias a partir do banco de dados original, dadas por: atropelamentos (de animal e de pedestre); colisão com objeto (bicicleta, objeto em movimento e estático); colisão frontal; colisão lateral; colisão transversal; colisão traseira e; outros (capotamento, derramamento de carga, engavetamento, incêndio, queda de ocupante, saída do leito carroçável e tombamento).

Para o traçado da via, essa foi especificada em três situações, dadas por: curva; reta e; outros (incluindo cruzamento, desvio temporário, interseção de vias, ponte, retorno regulamentado, rotatória, túnel e viaduto).

No Estado de Santa Catarina há 12 rodovias federais (BRs). No entanto, para este estudo, reuniram-se os dados das rodovias com menores frequências de acidentes na categoria chamada outras BRs (BR 116, BR 153, BR 158, BR 163, BR 280, BR 285, BR 475, BR 480 e BR 486) e as que têm maior número de ocorrências de acidentes permaneceram identificadas com BR 101, BR 470 e BR 282.

As demais variáveis como fases do dia (amanhecer, anoitecer, plena noite e pleno dia), tipo de pista (simples, dupla e múltipla), dias da semana e meses do ano permaneceram com a mesma especificação dos dados originais.

## Área de estudo

O estado de Santa Catarina está localizado na região Sul do Brasil, entre os paralelos 25° 57' 41" e 29° 23' 55", latitude Sul, e entre os meridianos 48° 19' 37" e 53° 50' 00", latitude Oeste (IBGE, 2021). A região faz divisa ao Norte com o estado do Paraná, ao Sul com o Rio Grande do Sul, ao Oeste com a Argentina e ao Leste com o Oceano Atlântico, compreendendo uma área total de 95.733,978 km<sup>2</sup>. A população total desse estado Brasileiro, de acordo com o último censo realizado em 2010 (IBGE, 2021), é de 6.248.436 habitantes, com estimativa de alcance populacional para 2021 de 7.338.473 habitantes. A capital do estado é Florianópolis e todos os habitantes estão divididos entre as 295 cidades.

O Departamento Nacional de Trânsito do Brasil - DENATRAN (2017) indica um crescimento de 39,77% da frota de veículos, em Santa Catarina, entre os anos de 2010 e 2015, passando de 3.414.195 para 4.772.160 veículos. Santa Catarina conta com aproximadamente 2.341,1 km de rodovias federais implantadas e 4.538,8 km de rodovias estaduais (Thomazi, 2018), conforme observa-se no Quadro 5 para a malha pavimentada. As rodovias que compõem essa malha são as BRs 101, 116, 153, 158, 163, 280, 282, 285, 470, 475, 480 e 486, conforme indica a Figura 1.

Quadro 5. Rede do Sistema Nacional de Viação do Estado de Santa Catarina, em quilômetros. Fonte: Adaptado de DNIT (2015).

Jurisdição da rodovia	Planejada	Não planejada	Rede pavimentada			Subtotal	Total
			Pista simples	Em obras de duplicação	Pista dupla		
Federal	1.218,8	19,2	1.871,4	109,6	360,1	2.341,1	3.579,1
Coincidente	0,0	252,9	724,8	0,0	13,6	738,4	991,3
Estadual	2.121,7	1.271,9	3.771,0	0,0	29,4	3.800,4	7.194,0
Santa Catarina	46.722,5	54.268,1	6.557,0	109,6	389,5	7.056,1	108.046,7

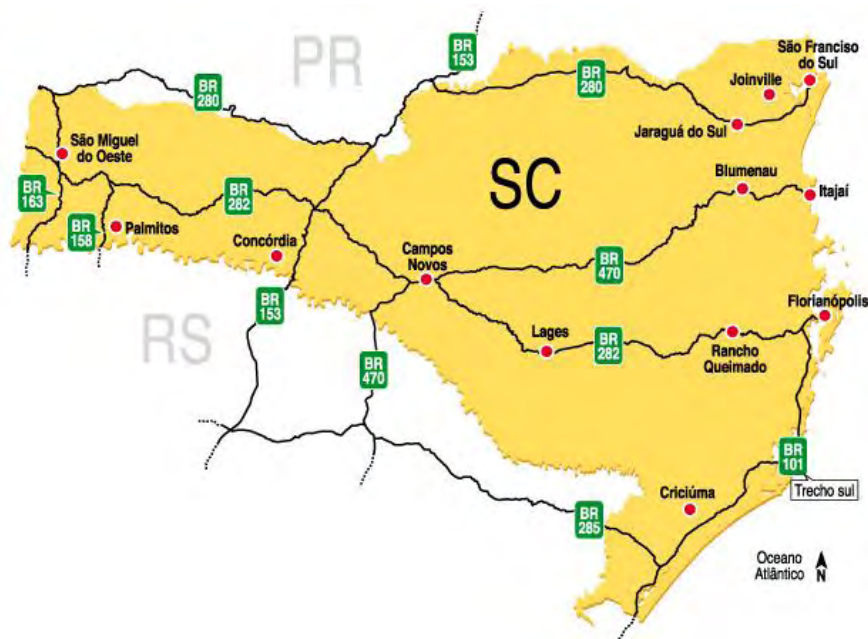


Figura 1. Mapa da malha rodoviária federal de Santa Catarina. Fonte: GZH Geral (2012).

Um resumo do sistema nacional de viação do estado de Santa Catarina pode ser observado a partir do Quadro 5, que compreende os tipos de rodovias e a rede pavimentada. Como é possível analisar, as rodovias federais totalizam pouco mais de 30%, sendo que os trechos coincidentes são as sobreposições das rodovias estaduais e federais. O total de rodovias é a soma dos segmentos federais e estaduais. Os números de Santa Catarina representam o somatório dos segmentos federais, estaduais e municipais.

Sobretudo, o estado de Santa Catarina foi escolhido para esta pesquisa por se tratar de uma região de interesse para estudos mais específicos por parte dos autores, compondo uma investigação preliminar das causas de acidentes fatais em rodovias federais catarinenses. Além disso, de acordo com a CNT (2019), Santa Catarina apresentou o quarto maior índice de mortes no trânsito em rodovias federais no ano de 2019, totalizando 403. De acordo com a Diretoria de Vigilância Epidemiológica - DIVE (2018), entre os anos de 2007 e 2017 foram registrados 20.957 óbitos por acidentes de transporte terrestre, sendo as principais vítimas os ocupantes de veículos, seguidos por motociclistas e pedestres, respectivamente. Considerando o mesmo período, houve uma redução de 35% no comparativo dos anos de 2007 e 2017 com relação a taxa de mortalidade.

## Modelagem estatística

De maneira geral, os modelos de regressão univariados visam descrever como uma variável resposta ( $Y_i$ ) pode ser explicada a partir de um conjunto de características, denominadas variáveis explicativas ( $X_1, \dots, X_k$ ). Quando a variável resposta em estudo é dicotômica, isso é, assume apenas valores zero ou um (como é proposta nesta pesquisa, sendo zero para vítimas feridas e/ou sem vítimas e um para vítimas fatais), o modelo de regressão mais utilizado na literatura é o logístico, um caso particular dos modelos lineares generalizados (Nelder e Wedderburn, 1972).

Formalmente, para o presente problema,  $Y_i$  - Bin ( $n$ ,  $\pi$ ), em que  $n$  corresponde ao número de acidentes de trânsito e  $\pi$  é a probabilidade do acidente resultar em vítimas fatais, isso é,  $P(Y_i = 1)$ . Analogamente, a probabilidade do acidente não resultar em vítimas fatais é dada por  $P(Y_i = 0) = 1 - \pi_i$ . Assim, o modelo logístico pode ser escrito conforme a Equação 1.

$$\text{logit}(\pi_i) = \log\left(\frac{\pi_i}{1 - \pi_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k \quad (1)$$

em que são os parâmetros do modelo e devem ser calculados, usualmente, por meio do método da máxima verossimilhança (para mais informações, consultar Nelder e Wedderburn, 1972).

A partir da Equação 1, é possível encontrar a exata probabilidade de um acidente resultar em vítimas fatais, dada pela Equação 2 a seguir.

$$\pi_i = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k)} \quad (2)$$

Um conceito importante nesse tipo de modelagem é a razão de chances definida por  $(B_j)$ ,  $J = 1, \dots$ , que basicamente mensura o crescimento ou decréscimo da chance de ocorrerem vítimas fatais em um determinado acidente (Harrell Jr., 2015). Se, por exemplo, um determinado fator de risco ( $X_1$ ) dobra as chances do acidente apresentar vítimas fatais, então  $\exp(B_1) = 2$ , ao passo que, se um outro fator ( $X_2$ ) diminui a chance pela metade, então  $(B_2) = 0,5$ .

De modo a identificar as características (ou fatores) que influenciam estatisticamente a probabilidade de um determinado acidente resultar em vítimas fatais, o presente estudo utilizou um procedimento de seleção de variáveis denominado *stepwise* a partir do critério de informação bayesiano de Schwarz - SBC (do inglês *Schwarz Bayesian Criterion*) (Schwarz, 1978). O procedimento em questão inicia-se com a inclusão de apenas uma variável no modelo e posteriormente adiciona-se e remove-se variáveis, criando diferentes modelos possíveis, até que o menor valor do SBC seja obtido e, assim, o modelo mais parcimonioso é selecionado. Essa abordagem foi adotada devido ao grande número de observações presentes no banco de dados (179.031). Finalmente, para verificar a adequação do modelo final ajustado, uma análise de resíduos foi realizada. Sobretudo, todos os procedimentos computacionais foram desenvolvidos por meio do software R (R Core Team, 2020).

## RESULTADOS

A seleção das variáveis em estudo foi realizada de acordo com o método *stepwise*, descrito na seção **Modelagem estatística**. O Quadro 6 sumariza os resultados obtidos para o melhor modelo selecionado.

Quadro 6. Coeficientes estimados para o modelo logístico (e seus respectivos erros-padrão) e a razão de chances. *Fonte: Elaboração própria.*

Variável	Categorias	Estimativa/Erro Padrão	Razão de Chances
Intercepto	-	-5,473 (0,179)	0,004
Condição meteorológica	Sol	1	-
	Nevoeiro/neblina	-0,141 (0,117)	0,869
	Chuva	-0,403 (0,067)	0,669
	Outros	-0,166 (0,064)	0,847
	Céu claro	-0,061 (0,061)	0,941
Fases do dia	Anoitecer	1	-
	Amanhecer	0,405 (0,097)	1,500
	Pleno dia	-0,333 (0,076)	0,716
	Plena noite	0,275 (0,074)	1,317
Causas do acidente	Veicular	1	-
	Viário/Ambiental	0,809 (0,128)	2,245
	Humano	0,327 (0,126)	1,387
Tipo de acidente	Colisão lateral	1	-
	Saída leito carroçável	0,153 (0,081)	1,165
	Colisão traseira	-0,459 (0,079)	0,632
	Outros	0,283 (0,079)	1,327
	Colisão com objeto	0,721 (0,077)	2,056
	Colisão transversal	0,671 (0,076)	1,957
	Atropelamento	2,497 (0,072)	12,145
	Colisão frontal	2,921 (0,065)	18,567
Traçado da via	Outros	1	-
	Curva	1,252 (0,081)	3,496
	Reta	0,865 (0,076)	2,376

Analisando o Quadro 6, verifica-se que os sinais dos coeficientes apresentados contribuem diretamente na probabilidade de haver vítimas fatais em um determinado acidente (Equação 2). Sinais positivos indicam um aumento nessa probabilidade, ao passo que os sinais negativos implicam em sua redução.

Para verificar a adequação do modelo, neste estudo, foram calculados os resíduos quantílicos aleatorizados normalizados (Dunn e Smyth, 1996) e, posteriormente, construiu-se um *worm plot* (Van Buuren e Fredriks, 2001), como mostra a Figura 2.

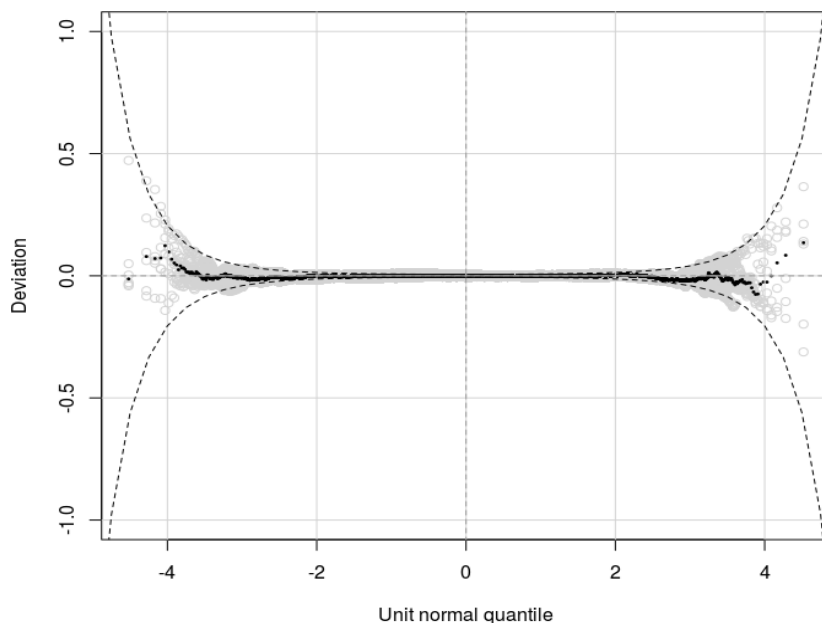


Figura 2. Resíduos quantílicos aleatorizados normalizados. Fonte: *Elaboração própria*.

Conforme indica a Figura 2, como nenhuma tendência em específico pode ser visualizada e todos os pontos de cor preta/escuro encontram-se dentro das bandas de confiança, pode-se dizer que o modelo ajustado é adequado para explicar o conjunto de dados em estudo (mais detalhes sobre a interpretação desse gráfico podem ser encontrados em Stasinopoulos et al., 2017).

## DISCUSSÕES

Nessa seção é discutido detalhadamente o relacionamento entre cada variável (característica) selecionada para explicar a probabilidade de haver vítimas fatais em um acidente (Quadro 6).

### Vítimas fatais versus condição meteorológica

Considerando a variável condição meteorológica, a chance de haver uma vítima fatal, quando a condição meteorológica é de *nevoeiro/neblina*, diminui 13,1% em relação a condição meteorológica *sol*, considerando todas as demais variáveis como fixas (ou seja, nas mesmas condições). Da mesma forma, a chance de haver uma vítima fatal para as condições de *chuva*, *céu claro* e *outros* (nublado, vento, granizo e neve) diminui 33,1%, 5,9% e 15,3%, respectivamente, em relação à condição meteorológica *sol*, considerando todas as demais variáveis como fixas, podendo-se concluir que, para o banco de dados utilizado nesta pesquisa, as precipitações meteorológicas não agravam a ocorrência de acidentes, ou seja, não elevam o número de vítimas fatais.

Sobretudo, resultados semelhantes foram observados por Roquim et al. (2019) no estudo de acidentes fatais/com vítimas na malha viária nacional brasileira, cujos autores

justificaram tal achado à maior atenção dos motoristas à condução do veículo. Essa maior atenção pode resultar em, por exemplo, um aumento da distância de segurança e diminuição da velocidade de condução e do número de manobras de risco.

Ademais, outros pesquisadores como Hordofa et al. (2018) também indicaram que condições secas representam a maior parte dos acidentes fatais em rodovias, ao passo que Andrey et al. (2003) e Lee et al. (2018) obtiveram conclusões contrárias, ressaltando que a condição chuvosa é responsável pelo agravamento dos acidentes, principalmente quando relacionada a outros efeitos como intensidade e profundidade da lâmina d'água.

## Vítimas fatais versus fases do dia

A chance de haver uma vítima fatal aumenta em 50% se o acidente ocorrer na fase do dia *amanhecer*, comparada à fase do dia *anoitecer*, controlando as demais variáveis. Assim como na variável anterior, a chance de haver uma vítima fatal aumenta em 31,7% na fase do dia *plena noite*, enquanto que essa razão de chances decresce em 28,4% se a fase do dia for *pleno dia*, ambas comparadas à variável *anoitecer* e controlando-se as demais variáveis.

É possível observar, a partir desses resultados, que para o banco de dados estudado, a diminuição da luz do dia influencia significativamente na ocorrência de acidentes fatais nas rodovias federais de Santa Catarina. O fator mais elevado encontrado foi a fase do dia *amanhecer*, seguido pelo fator *plena noite*. A diminuição da luminosidade em conjunto com o cansaço do motorista (tráfego nas primeiras horas da manhã e em plena noite) sugere uma maior colaboração para o aumento da fatalidade dos acidentes de trânsito.

Da mesma forma, Beirness, Simpson e Desmond (2005), Anarkooli e Hosseinlou (2016), Zhang et al. (2016), Uddin e Huynh (2017), Wei et al. (2017), Gonçalves (2018) e Xuecai et al. (2018) obtiveram conclusões semelhantes, destacando que no amanhecer são observados os maiores índices de acidentes fatais em rodovias, principalmente devido à fatores como dificuldade em prestar socorro às vítimas nesse horário, fadiga ao dirigir no período noturno, baixa luminosidade disponível e sonolência dos motoristas nas primeiras horas da manhã.

Conforme destacado por Wang et al. (2019b), tal fato denota a necessidade de regulamentar o tráfego nas primeiras horas do dia, seja pela imposição de restrições de condução noturna, seja pelo monitoramento em tempo real e tomada de ações imediatas, assegurando melhores condições de trafegabilidade para os usuários das vias.

## Vítimas fatais versus causas do acidente

Por sua vez, a chance de haver uma vítima fatal, considerando a causa do acidente o *fator humano*, aumenta 38,7% quando comparada com a causa do acidente *veicular*, controlando as demais variáveis. Em se tratando da variável *viário/ambiental*, esse índice aumenta para 124,5% quando comparado à causa do acidente *veicular*, controlando as demais variáveis.

Esses resultados induzem que, para o banco de dados estudado, fatores como defeito mecânico no veículo, avarias e/ou desgaste excessivo no pneu, pista escorregadia, restrição de visibilidade e sinalização da via insuficiente ou inadequada, por exemplo,

são mais relevantes para a ocorrência de acidentes fatais em comparação com a falta de atenção a condução, não guardar distância de segurança, velocidade incompatível, ingestão de álcool, entre outros. Sobretudo, infere-se que a variável *viário/ambiental* é a mais expressiva justamente pela falta de controle que o motorista tem em relação às condições da pista e às condições meteorológicas.

Em contrapartida, Theofilatos (2017), ao investigar a probabilidade e a gravidade de acidentes utilizando dados de tráfego e meteorológicos em tempo real, constatou que a variável *viário/ambiental* não pareceu significativa, seja na gravidade do acidente ou na probabilidade de o acidente ser investigado. Corroboram com essas conclusões Theofilatos, Graham e Yannis (2012), Theofilatos e Yannis (2016) e Hordofa et al. (2018).

A partir disso, infere-se que a maior ocorrência de acidentes fatais em função da causa *viário/ambiental* está diretamente relacionada ao estado das rodovias e aos fatores culturais e comportamentais dos motoristas. A condição precária das rodovias federais brasileiras aliada à imprudência no trânsito em condições adversas de tráfego pode ser uma indicação direta dos elevados índices de fatalidades encontrados na presente pesquisa. Por conta disso, as regiões dos estudos supracitadas talvez apresentassem melhores condições de infraestrutura nas vias e, assim, fatores humanos podem ser mais comprometedores do que critérios viários ou ambientais, como observado na presente investigação acerca das rodovias federais catarinenses.

## Vítimas fatais versus tipo de acidente

A chance de haver uma vítima fatal, considerando o tipo de acidente *colisão frontal*, é 18,57 vezes maior quando comparada com o tipo de acidente *colisão lateral*, controlando as demais variáveis. Ainda, as variáveis *atropelamento*, *colisão com objeto*, *colisão transversal*, *outros* (capotamento, derramamento de carga, engavetamento, incêndio, queda de ocupante, saída do leito carroçável e tombamento) e *saída do leito carroçável* têm 12,14, 2,06, 1,96, 1,33 e 1,16 vezes, respectivamente, mais chance de resultarem em uma vítima fatal quando comparadas com o tipo de acidente *colisão lateral*, controlando as demais variáveis, enquanto que a *colisão traseira* tem 36,8% menos chance de ter esse tipo de incidente.

Conforme é possível observar, os índices mais significativos para a presente pesquisa ficaram por conta das variáveis *colisões frontais* e *atropelamentos*. Outros pesquisadores como Bham, Javvadi e Manepalli (2012), Hosseinpour, Yahaya e Sadullah (2014), Seijas et al. (2018), Wang et al. (2019a), Wang et al. (2019c) e Tan et al. (2021) obtiveram conclusões semelhantes.

Sendo assim, constata-se que os elevados índices de óbitos obtidos para *colisões frontais* e *atropelamentos* podem ser considerados previsíveis em função das severas características do acidente. Por se tratarem de pistas de alta velocidade, as rodovias federais apresentam condições propícias para resultarem em uma maior probabilidade de mortes quando esses tipos de acidentes ocorrem. Ademais, grande parte das rodovias federais consideradas no presente estudo atravessam áreas urbanas, o que influencia diretamente na ocorrência de atropelamentos.



## Vítimas fatais versus traçado da via

A chance de haver uma vítima fatal, considerando o traçado da via como *curva*, é 3,50 vezes maior quando comparada com o traçado da via como *outros* (cruzamento, desvio temporário, interseção de vias, ponte, retorno regulamentado, rotatória, túnel e viaduto), controlando as demais variáveis. Da mesma forma, o traçado da via como *reta* tem 2,38 vezes mais chances de resultar em um acidente fatal para as vítimas quando comparado com a variável *outros*, controlando as demais variáveis.

Nesse sentido, os maiores índices de óbitos em *curvas* podem estar relacionados com a falta de visibilidade em ultrapassagens proibidas ou a falta de controle do veículo durante a manobra, geralmente associada à fatores viários e ambientais, como já destacado. Por sua vez, infere-se que o índice de fatalidade observado no traçado da via em *reta* está relacionado principalmente com as colisões frontais, observadas no tópico anterior, pois aumentam a gravidade do acidente nesse tipo de incidente, além da restrição de visibilidade inerente ao fator *viário/ambiental*.

Ademais, as pesquisas de Schneider et al. (2009), Schneider, Savolainen e Moore (2010), Hordofa et al. (2018) e Elvik, Sagberg e Langeland (2019) corroboram com os resultados obtidos no presente estudo, visto que os autores perceberam que segmentos com curvas horizontais estão entre os fatores que mais contribuem para a ocorrência de acidentes com vítimas fatais. Entretanto, as análises de Gonçalves (2018) indicaram índices de acidentes fatais muito próximos entre segmentos retilíneos e com curvas, enquanto que Shah et al. (2019) não encontraram problemas em seções com curvas horizontais durante suas investigações.

## CONCLUSÕES

O presente estudo concentrou a análise do banco de dados de acidentes disponibilizado pela Polícia Rodoviária Federal - PRF para os anos de 2007 a 2018 do estado de Santa Catarina, no Brasil, avaliando a ocorrência de acidentes fatais em rodovias federais com a proposta de melhorar o entendimento sobre os fatores que contribuem para o aumento de óbitos na região destacada.

Como observado, a *colisão frontal* e o *atropelamento*, considerando o tipo de acidente, representam as maiores razões de chances encontradas na presente pesquisa, relacionadas diretamente com a gravidade desse tipo de colisão em função da alta velocidade de tráfego (entre 80 km/h e 100 km/h). A depender da situação, infere-se que a implantação de canteiros centrais e passarelas para pedestres podem contribuir para a diminuição do índice de fatalidades.

Como esperado, as categorias *amanhecer*, relacionada com a variável fase do dia, e *curva*, relativa a variável traçado da via, apresentaram razões de chances elevadas. Ambos os elementos estão ligados a falta de visibilidade durante a condução, seja a baixa luminosidade e fadiga do motorista, seja a falta de perspectiva adequada dos condutores. Sobretudo, esses fatores podem ser agravados a partir de condições adversas de tráfego, relativas ao estado da via e a aderência pneu-pavimento.

Diversos estudos apontados durante esta investigação relatam que o fator *humano*, referente a variável causa do acidente, tem maior influência na ocorrência de óbitos em acidentes de trânsito. No entanto, a presente pesquisa demonstrou que essa característica não é uma condição absoluta, visto que o fator *viário/ambiental* apresentou o maior valor de razão de chances entre as categorias, o que demonstra que a manutenção e as

condições adversas da via são uma condição-chave para a ocorrência de mortes nas rodovias federais catarinenses. Portanto, infere-se que esses aspectos são passíveis de correção com políticas ativas de reparos nas vias e educação dos motoristas no trânsito durante situações de emergência.

Ademais, observa-se que a categoria *sol* na variável condição meteorológica apresentou a maior razão de chances entre os fatores analisados. Esse resultado inesperado vai de encontro à premissa inicial de que pistas molhadas e com baixa visibilidade aumentariam a gravidade dos acidentes, portanto, elevando o número de óbitos. No entanto, assim como relatado por outras investigações, a chuva não é um fator exclusivo para a ocorrência de acidentes fatais, mas é resultado de uma combinação com outras características. Além disso, não é possível afirmar com precisão qual era a condição da pista no momento do acidente, visto que os fenômenos de viscoplanagem, isso é, derrapagens a partir de finas películas de água, geralmente ocorrem após as chuvas, resultante da falsa sensação de segurança percebida pelos motoristas nessas situações.

Outras limitações para o presente estudo foram: volume de tráfego; tipo de veículo; condição da rodovia; proximidade com áreas urbanas e; consideração de todas as rodovias federais do estado. Sobretudo, essas características podem influenciar diretamente nas razões de chances encontradas ao serem relacionadas às variáveis dependentes propostas. No entanto, o foco deste estudo consistiu na análise das variáveis disponibilizadas pelo banco de dados da PRF, como um recorte no universo do conjunto de dados para uma unidade federativa brasileira, no caso, o estado de Santa Catarina, obtendo-se uma visão panorâmica da influência dessas variáveis na ocorrência de acidentes de trânsito fatais. Assim, como resultado complementar deste artigo, sugere-se a continuidade de investigação, em estudos futuros específicos, de cada um dos aspectos que não foram abordados detalhadamente, como os acidentes envolvendo pedestres, entre outras características que possam resultar em novos objetivos individuais para pesquisas posteriores.

Por fim, é importante destacar que o Brasil é um país que ainda apresenta graves problemas de infraestrutura e sinalização em suas rodovias e estradas federais. Somando-se à imprudência no trânsito e a falsa sensação de segurança dos motoristas, não é possível diminuir essas estatísticas sem a aplicação de políticas efetivas que melhorem as condições da pista de rolamento e promovam mais conscientização para os condutores. Faz-se necessária a integração entre os diversos órgãos de segurança pública para evoluir e criar um sistema único e padronizado que melhore o entendimento sobre o comportamento dos acidentes nas rodovias brasileiras, não apenas para fins estatísticos, mas também para contribuições gerenciais que proporcionem benefícios para a sociedade.

## BIBLIOGRAFIA

- » Anarkooli, A. J. e Hosseinlou, M. H. (2016). Analysis of the injury severity of crashes by considering different lighting conditions on two-lane rural roads. *Journal Of Safety Research*, 56, 57-65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsr.2015.12.003>.
- » Andrey, J. et al. (2003). Weather as a chronic hazard for road transportation in Canadian cities. *Natural Hazards*, 28(2), 319-343. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1022934225431>.
- » Bae, Y.; Ahn, S. e Chung, J. (2013) Analysis on comparison of highway accident severity between weekday and weekend using structural equation model. *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, 33(6), 2483-2491. <http://dx.doi.org/10.12652/ksce.2013.33.6.2483>.
- » Beirness, D. J.; Simpson, H. M. e Desmond, K. (2005). *The Road Safety Monitor 2004: drowsy driving*. Ottawa: Traffic Injury Research Foundation (TIRF).
- » Bham, G. H.; Javvadi, B. S. e Manepalli, U. R. R. (2012). Multinomial Logistic Regression Model for Single-Vehicle and Multivehicle Collisions on Urban U.S. Highways in Arkansas. *Journal Of Transportation Engineering*, 138(6), 786-797. [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)te.1943-5436.0000370](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)te.1943-5436.0000370).
- » Caixeta, C. R. et al. (2010). Morbidade por acidentes de transporte entre jovens de Goiânia, Goiás. *Ciência & Saúde Coletiva*, 15(4), 2075-2084. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-81232010000400021>.
- » Caliendo, C.; Guida, M. e Parisi, A. (2007) A crash-prediction model for multilane roads. *Accident Analysis and Prevention*, 39, 657-670. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2006.10.012>.
- » CFM - Conselho Federal de Medicina (2019). Em dez anos, acidentes de trânsito consomem quase R\$ 3 bilhões do SUS. Brasil: *Portal CFM*. Disponível em: [https://portal.cfm.org.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=28254:2019-05-22-21-49-04&catid=3](https://portal.cfm.org.br/index.php?option=com_content&view=article&id=28254:2019-05-22-21-49-04&catid=3) (02/04/2020).
- » CNT - Confederação Nacional de Transportes (2018). *Pesquisa CNT de Rodovias 2018: relatório gerencial*. Brasil: CNT.
- » CNT - Confederação Nacional de Transportes (2019). *Painel CNT de Consultas Dinâmicas dos Acidentes Rodoviários*. Brasil: CNT.
- » DENATRAN - Departamento Nacional de Trânsito (2017). Frota de veículos. Brasil: *DENATRAN*. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/frota.htm> (02/04/2020).
- » DIVE - Diretoria de Vigilância Epidemiológica (2018). *Mortalidade por Acidentes de Transporte Terrestre*. Santa Catarina: DIVE.
- » DNIT - Departamento Nacional De Infraestrutura Terrestre (2009). *Elaboração de Ações Preventivas e Corretivas de Segurança Rodoviária, por Meio de Identificação e Mapeamento dos Segmentos Críticos da Malha Viária do DNIT*. Rio de Janeiro (Brasil): DNIT.
- » DNIT - Departamento Nacional De Infraestrutura Terrestre (2015). Sistema Nacional de Viação. Rio de Janeiro (Brasil): *DNIT*. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/snv-2014-1> (02/04/2020).

- » Dunn, P. K. e Smyth, G. K. (1996). Randomized quantile residuals. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5, 236-244. <http://dx.doi.org/10.2307/1390802>.
- » Edwards, J. B. (1999). The temporal distribution of road accidents in adverse weather. *Meteorological Applications*, 6(1), 59-68. <http://dx.doi.org/10.1017/s1350482799001139>.
- » Edwards, J. B. (2002) Motorway speeds in wet weather: the comparative influence of porous and conventional asphalt surfacings. *Journal Of Transport Geography*, 10(4), 303-311. [http://dx.doi.org/10.1016/s0966-6923\(02\)00044-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0966-6923(02)00044-3).
- » Elvik, R.; Sagberg, F. e Langeland, P. A. (2019). An analysis of factors influencing accidents on road bridges in Norway. *Accident Analysis & Prevention*, 129, 1-6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2019.05.002>.
- » Ferraz, A. C. et al. (2012) *Segurança Viária*. São Carlos, SP: Suprema Gráfica e Editora.
- » Figueira, A. C. et al. (2017). Identification of rules induced through decision tree algorithm for detection of traffic accidents with victims: A study case from Brazil. *Case Studies On Transport Policy*, 5(2), 200-207. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cstp.2017.02.004>.
- » Fridstrom, L. et al. (1995) Measuring the contribution of randomness, exposure, weather and daylight to the variation in road accident counts. *Accid. Anal. Prev.*, 27(1), 1-20. [http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575\(94\)e0023-e](http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575(94)e0023-e).
- » Gold, P. A. (1998). *Segurança de Trânsito: aplicações de engenharia para reduzir acidentes*. Washington, DC: BID.
- » Gonçalves, D. H. (2018). *Análise de uma Década de Acidentes Graves nas Rodovias Federais do Ceará no Período 2008-2017*. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza: Dissertação (Mestrado) - Curso de Modelagem e Métodos Quantitativos.
- » GZH - Geral (2012). *Dilma Rousseff visita Santa Catarina e dá fôlego para oito rodovias federais*. Porto Alegre: GZH Geral. Disponível em <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2012/05/dilma-rousseff-visita-santa-catarina-e-da-folego-para-oito-rodovias-federais-3764684.html> (06/05/2021).
- » Harrell Jr., F. E. (2015). *Regression Modeling Strategies: with applications to linear models, logistic and ordinal regression, and survival analysis*. New York: Springer.
- » Hordofa, G. G. et al. (2018). Prevalence of fatality and associated factors of road traffic accidents among victims reported to Burayu town police stations, between 2010 and 2015, Ethiopia. *Journal Of Transport & Health*, 10, 186-193. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jth.2018.06.007>.
- » Hosseinpour, M.; Yahaya, A. S. e Sadullah, A. F. (2014). Exploring the effects of roadway characteristics on the frequency and severity of head-on crashes: case studies from malaysian federal roads. *Accident Analysis & Prevention*, 62, 209-222. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2013.10.001>.
- » IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021). Banco de Dados Estado de Santa Catarina. Santa Catarina: IBGE. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/panorama> (14/10/2021).
- » IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2015). *Acidentes de Trânsito nas rodovias federais brasileiras: caracterização, tendências e custos para a sociedade*. Brasília, DF (Brasil): IPEA.

- » Iqbal, A. et al. (2020). Road Traffic Accident Analysis and Identification of Black Spot Locations on Highway. *Civil Engineering Journal*, 6(12), 2448-2456. <http://dx.doi.org/10.28991/cej-2020-03091629>.
- » Jung, S.; Qin, X. e Noyce, D. A. (2010) Rainfall effect on single-vehicle crash severities using polychotomous response models. *Accident Analysis & Prevention*, 42(1), 213-224. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2009.07.020>.
- » Kabbach, F. I. J.; Suzuki, C. Y. e Trentin, L. C. (2011) Case-studies of influence in rainfall intensity on safety conditions, Porto Alegre/Brazil. *Presented at the 12th International Conference on Urban Drainage*, 1-12.
- » Kim, D. G.; Washington, S. e Oh, J. (2006) Modeling Crash Types: new insights into the effects of covariates on crashes at rural intersections. *Journal Of Transportation Engineering*, 132(4), 282-292. [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0733-947x\(2006\)132:4\(282\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0733-947x(2006)132:4(282)).
- » Koroad (2016) *Analysis of Traffic Accident Statistics*. Coreia do Sul. Disponível em <http://taas.koroad.or.kr/>.
- » Lee, J.; Chung, J. H. e Son, B. (2008) Analysis of traffic accident severity for Korean highway using structural equations models. *J. Korean Soc. Transp.*, 26(2), 17-24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2008.08.006>.
- » Lee, J. et al. (2018). Traffic accident severity analysis with rain-related factors using structural equation modeling - A case study of Seoul City. *Accident Analysis & Prevention*, 112, 1-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2017.12.013>.
- » Mondal, P. et al. (2011). Are Road Accidents Affected by Rainfall? A Case Study from a Large Indian Metropolitan City. *British Journal Of Applied Science & Technology*, 1(2), 16-26. <http://dx.doi.org/10.9734/bjast/2011/106>.
- » Nelder, J. A. e Wedderburn, R. W. M. (1972). Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society*, 135, 370-384.
- » Nodari, C. T. (2003). *Método de avaliação da segurança potencial de segmentos rodoviários rurais de pista simples*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia.
- » Park, J.; Hong, J. e Lee, S. (2010) Development of traffic accident safety index under different weather conditions. *J. Korean Soc. Transp.*, 28(1), 157-163.
- » PRF - Polícia Rodoviária Federal (2019). Dados Abertos - Acidentes. Brasil: PRF. Disponível em: <https://www.prf.gov.br/portal/dados-abertos/acidentes> (11/09/2019).
- » R Core Team (2020). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <https://www.R-project.org> (05/01/2020).
- » Roquim, F. V. et al. (2019) Regressão logística: o que leva um acidente rodoviário a ser uma tragédia? *SIGMAE*, 8(2), 19-28. <https://publicacoes.unifal-mg.edu.br/revistas/index.php/sigmae/article/view/902>.
- » Scheider, W. H. et al. (2009). Bayesian Analysis of the Effect of Horizontal Curvature on Truck Crashes Using Training and Validation Data Sets. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, [s.l.], 2096(1), 41-46. <http://dx.doi.org/10.3141/2096-06>.
- » Scheider, W. H.; Savolainen, P. T. e Moore, D. N. (2010). Effects of Horizontal Curvature on Single-Vehicle Motorcycle Crashes along Rural Two-Lane

- Highways. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2194(1), 91-98. <http://dx.doi.org/10.3141/2194-11>.
- » Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *The Annals of Statistics*, 6, 461-464.
  - » Seijas, V. et al. (2018). Severe and moderate injuries in people over 60 years of age caused in traffic accidents in Medellin (Colombia). *Annals Of Physical And Rehabilitation Medicine*, 61, 551-552. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rehab.2018.05.1284>.
  - » Shah, S. A. R. et al. (2019). Relationship between road traffic features and accidents: an application of two-stage decision-making approach for transportation engineers. *Journal Of Safety Research*, 69, 201-215. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsr.2019.01.001>.
  - » Sherretz, L. A. e Farhar, B. C. (1978) An analysis of the relationship between rainfall and the occurrence of traffic accidents. *Journal of Applied Meteorology*, 17, 711-715. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(1978\)017<0711:aaotr>2.o.co;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(1978)017<0711:aaotr>2.o.co;2).
  - » Simon, L. A. e Hallal, R. R. (2018). Influências de uma Duplicação Quanto a Segurança Viária: Estudo do Caso da BR 392, Trecho Pelotas x Rio Grande. 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET, Gramado, Brasil, 3305-3316.
  - » Stasinopoulos, M. D, et al. (2017). *Flexible Regression and Smoothing: Using GAMLSS in R*. Londres, Inglaterra: Chapman & Hall/CRC.
  - » Tan, Z. et al. (2021). Research of fatal car-to-pedestrian precrash scenarios for the testing of the active safety system in China. *Accident Analysis & Prevention*, 150, 1-12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2020.105857>.
  - » Theofilatos, A. (2017). Incorporating real-time traffic and weather data to explore road accident likelihood and severity in urban arterials. *Journal Of Safety Research*, 61, 9-21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsr.2017.02.003>.
  - » Theofilatos, A. e Yannis, G. (2016). Investigation of powered 2-wheeler accident involvement in urban arterials by considering real-time traffic and weather data. *Traffic Injury Prevention*, 18(3), 293-298. <http://dx.doi.org/10.1080/15389588.2016.1198871>.
  - » Theofilatos, A.; Graham, D. e Yannis, G. (2012). Factors Affecting Accident Severity Inside and Outside Urban Areas in Greece. *Traffic Injury Prevention*, 13(5), 458-467. <http://dx.doi.org/10.1080/15389588.2012.661110>.
  - » Thomazi, K. R. (2018). *Elaboração de modelos de previsão de acidentes de trânsito em rodovias rurais de pista simples do estado de Santa Catarina com base no Highway Safety Manual (HSM)*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis: Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes.
  - » Uddin, M. e Huynh, N. (2017). Truck-involved crashes injury severity analysis for different lighting conditions on rural and urban roadways. *Accident Analysis & Prevention*, 108, 44-55. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2017.08.009>.
  - » Van Buuren, S. e Fredriks, M. (2001). Worm plot: a simple diagnostic device for modelling growth reference curves. *Statistics in Medicine*, 20, 1259-1277. <http://dx.doi.org/10.1002/sim.746>.
  - » Wang, D. et al. (2019a). Road traffic accident severity analysis: A census-based study in China. *Journal Of Safety Research*, 70, 135-147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsr.2019.06.002>.

- » Wang, L. et al. (2019b). Road traffic mortality in China: analysis of national surveillance data from 2006 to 2016. *The Lancet Public Health*, 4(5), 245-255. [http://dx.doi.org/10.1016/s2468-2667\(19\)30057-x](http://dx.doi.org/10.1016/s2468-2667(19)30057-x).
- » Wang, Q. et al. (2019c) Colorizing Ti-6Al-4V surface via high-throughput laser surface nanostructuring. *Journal Of Manufacturing Processes*, 43, 70-75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.03.050>.
- » Wei, X. et al. (2017). Analyzing Traffic Crash Severity in Work Zones under Different Light Conditions. *Journal Of Advanced Transportation*, 2017, 1-10. <http://dx.doi.org/10.1155/2017/5783696>.
- » WHO - World Health Organization (2018). *Global status report on road safety 2018*. Geneva (Suíça): WHO.
- » Xuecai, X. et al. (2018). Accident severity levels and traffic signs interactions in state roads: a seemingly unrelated regression model in unbalanced panel data approach. *Accident Analysis & Prevention*, 120, 122-129. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2018.07.037>.
- » Zhang, G. et al. (2016). Traffic accidents involving fatigue driving and their extent of casualties. *Accident Analysis & Prevention*, 87, 34-42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2015.10.033>.

### **Wellington Borba Broering / wellington.bb@posgrad.ufsc.br**

Possui graduação em Engenharia Civil pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC (2018) e mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (2020). Atualmente é doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil — PPGEC da UFSC, com enfoque em Geotecnia e Pavimentação. Tem experiência na área de misturas asfálticas, reologia de ligantes, nanotecnologia aplicada à pavimentação e materiais fotocatalíticos.

### **Francieli Schoenhals Delavy / fran.delavy@hotmail.com**

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT (2016), e mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (2021), com enfoque em Geotecnia e Pavimentação. Tem experiência na área de estudo de trechos monitorados com ligantes altamente modificados -HiMA e projetos de infraestrutura.

### **Andrea Cristina Konrath / andreack@gmail.com**

Possui graduação em Matemática Aplicada e Computacional pela Universidade de Santa Cruz do Sul -UNISC (2000), mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina -UFSC (2002) e doutorado em Engenharia Mecânica pela UFSC (2008). Desde agosto de 2011 é professora adjunta na UFSC, pertencendo ao Departamento de Informática e Estatística, na qual ministra disciplinas de Estatística na graduação e pós-graduação.

**Luiz Ricardo Nakamura / luiz.nakamura@ufsc.br**

Possui graduação em Estatística pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” -UNESP (2009), mestrado em Ciências (Estatística e Experimentação Agronômica) pela Universidade de São Paulo -USP (2011) e doutorado em Ciências (Estatística e Experimentação Agronômica) pela USP (2016), com período sanduíche na London Metropolitan University (Londres, Reino Unido). Atualmente é Professor Adjunto do Departamento de Informática e Estatística da Universidade Federal de Santa Catarina -UFSC.

**Vera do Carmo Comparsi de Vargas / veradocarmo@gmail.com**

Possui graduação em Licenciatura Plena de Ciências com Habilitação em Matemática pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões -URI (1992), especialização em Matemática pela URI (1995), mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria -UFSM (2001) e doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina -UFSC (2007). Atualmente é professora de Estatística no Departamento de Informática e Estatística do Centro Tecnológico da UFSC.