

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Rafaela Cesar Machado

**PREVALÊNCIA DE FATORES ASSOCIADOS À OCORRÊNCIA DE
ACIDENTES VIÁRIOS NO ENTORNO DE PONTOS DE PARADA EM
CORREDORES DE ÔNIBUS**

Porto Alegre

2017

Rafaela Cesar Machado

**PREVALÊNCIA DE FATORES ASSOCIADOS À OCORRÊNCIA DE ACIDENTES
VIÁRIOS NO ENTORNO DE PONTOS DE PARADA EM CORREDORES DE
ÔNIBUS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Acadêmica, na área de concentração em Sistemas de Transportes.

Orientadora: Christine Tessele Nodari, Dra.

Coorientadora: Ana Margarita Larrañaga Uriarte, Dra.

Porto Alegre

2017

CIP - Catalogação na Publicação

Machado, Rafaela Cesar

Prevalência de fatores associados à ocorrência de acidentes viários no entorno de pontos de parada em corredores de ônibus / Rafaela Cesar Machado. -- 2017. 120 f.

Orientadora: Christine Tessele Nodari.

Coorientadora: Ana Margarita Larrañaga Uriarte.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Porto Alegre, BR-RS, 2017.

1. transporte coletivo. 2. ambiente construído. 3. segurança viária. 4. logit ordenado. 5. logit multinomial. I. Nodari, Christine Tessele, orient. II. Uriarte, Ana Margarita Larrañaga, coorient. III. Título.

RAFAELA CESAR MACHADO

**PREVALÊNCIA DE FATORES ASSOCIADOS À OCORRÊNCIA DE ACIDENTES
VIÁRIOS NO ENTORNO DE PONTOS DE PARADA EM CORREDORES DE
ÔNIBUS**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Acadêmica e aprovada em sua forma final pela Orientadora e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof^a. Christine Tessele Nodari, Dra.

Orientadora PPGE/UFGRS

Prof^a. Ana Margarita Larrañaga Uriarte, Dra.

Coorientadora PPGE/UFGRS

Prof. Flavio Sanson Fogliatto, PhD.

Coordenador PPGE/UFGRS

Banca Examinadora:

Sara Maria Pinho Ferreira, PhD. (FEUP/UP)

Alejandro Ruiz Padillo, PhD. (UFSM)

Maria Beatriz Berti da Costa, Dra. (UFGRS)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a meu pai Zilmar, minha mãe Marlene e minha irmã Caroline, por todo o amor e incentivo dado ao longo desse processo. Agradeço por terem compreendido minhas ausências, minhas distrações e meus dias de tensão nesses dois anos de mestrado. Sem o apoio emocional e afeto incondicional fornecido por minha família, esse trabalho não teria sido possível.

Agradeço às minhas queridas orientadoras, Piti e Ana, por todo o incentivo, pela amizade, pelo apoio constante, pelos desafios propostos e pelas celebrações ao conseguirmos vencê-los. Agradeço o grande aprendizado acadêmico e pessoal que tive com vocês ao desenvolver a pesquisa, e por terem feito desse momento, muitas vezes exaustivo, uma jornada satisfatória e divertida. Tenho muito orgulho de ter vencido essa etapa ao lado de vocês, que com tanto carinho me guiaram.

Agradeço a Tania Torres, por toda a amizade e apoio fornecido durante todas as etapas de trabalho. Muito obrigada pela constante disponibilidade, paciência, apoio e incentivo, sempre me fazendo acreditar que eu era capaz e que seria possível atender ao propósito do estudo com qualidade.

Agradeço a Cristhiane Demore por todo o carinho, incentivo e disponibilidade em me ensinar e ajudar sempre que necessitei, e ao Mauricio Castilhos pelo apoio em coletar os dados necessários para qualificar esse trabalho.

Aos meus colegas de mestrado e de trabalho, pelo companheirismo e incentivo ao longo de todo o processo. Aos meus amigos, em especial meu irmão de coração Maurício, por terem compreendido minha ausência e por, mesmo com a distância no dia-a-dia, me apoiarem, compreenderem os dias ruins e comemorarem comigo cada avanço.

Aos membros da banca, Prof. Sara Ferreira, Prof. Alejandro Ruiz e Prof. Beatriz Berti, por dedicarem seu tempo e conhecimento para contribuir com essa pesquisa. Muito obrigada por todas as valorosas considerações e sugestões de estudos futuros.

RESUMO

Com o crescimento da população em áreas urbanas, o transporte coletivo assume um importante papel nos deslocamentos diários nas cidades brasileiras. No entanto, o grande volume de pessoas no entorno desses sistemas podem resultar em pontos críticos de segurança viária. Recentemente, as pesquisas sobre melhorias na segurança viária estão se direcionando para a investigação da relação entre o ambiente construído - isto é, padrões de uso do solo; desenho urbano; e sistemas de transporte - e acidentalidade. Porém, a relação entre os sistemas de transporte coletivo por ônibus e o ambiente construído ainda é pouco explorada. O ponto mais crítico em segurança identificado na literatura em sistemas de transporte coletivo são as estações de embarque e desembarque. Assim, esta dissertação tem como objetivo verificar a existência de relação entre elementos do ambiente construído com a ocorrência e severidade de acidentes viários no entorno de pontos de parada em sistemas prioritários para ônibus. Para isso, aplicou-se os modelos de regressão Binomial Negativo (NB), na análise de frequência de acidentes, e os modelos *Logit* Ordenado (OL) e *Logit* Multinomial (MNL), para a análise de severidade. No modelo de frequência de acidentes totais, identificou-se duas variáveis significativas e, no modelo estimado para atropelamentos, três variáveis. O modelo de severidade resultou em 19 variáveis significativas para acidentes totais e oito variáveis significativas para atropelamentos. As variáveis referentes ao envolvimento de motocicletas, automóveis, presença de interseção e uso diversificado do solo foram as mais recorrentes. O estudo possibilitou também avaliar as diferenças e vantagens entre os modelos ordenados e os não-ordenados. O modelo *Logit* Multinomial teve ajustes levemente melhores do que o *Logit* Ordenado. Ressalta-se, entretanto, que o ajuste do modelo não deve ser o único critério a se considerar na escolha de modelos para o estudo de severidade de acidentes.

Palavras-chave: transporte coletivo, ônibus, ambiente construído, binomial negativo, logit ordenado, logit multinomial

ABSTRACT

Public transport has played an important role in daily commutes in Brazilian cities as population grows in urban areas. However, high volumes of pedestrians near those systems may result in critical safety issues. Recent studies on road safety improvements have sought for evidence on the relationship between built environment - land use patterns; urban design; and transportation systems - and traffic safety. Nevertheless, the relationship between traffic safety at bus priority systems and the built environment is still incipient. According to studies, the most critical safety issues related to public transport are the stations for boarding and alighting. Thus, this thesis aims to verify the relationship between built environment and incidence and severity of traffic crashes in the surroundings of bus priority systems. To do so, we applied Negative Binomial regression models (NB) for the frequency analysis, and the Ordered Logit (OL) and Multinomial Logit (MNL) models for severity analysis. NB models resulted in two significant variables for traffic crashes in general and three variables for pedestrian crashes. The severity model resulted in 19 significant variables overall crashes and eight significant variables for pedestrian crashes. Variables related to the involvement of motorcycles, automobiles, intersections and mixed land use were significant in majority of model estimations. The results allowed to evaluate the goodness of fit between ordered and unordered models. MNL had a slightly better adjustments compared to OL. Goodness of fit, however, should not be the only criterion for selecting a model to assess crash severity.

Keywords: public transport, bus priority system, built environment, negative binomial, ordered logit, multinomial logit

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura da dissertação	15
Figura 2: Relação entre ambiente construído e ocorrência de atropelamentos	24
Figura 3: Rede viária configurada sob o formato lollipop.....	34
Figura 4: Corredores exclusivos para ônibus em faixas centrais em Porto Alegre	39
Figura 5: Fluxograma descrevendo etapas metodológicas da pesquisa	41
Figura 6: τ_1 e τ_2 indicam limites entre probabilidades de cada categoria.....	50
Figura 7: Derivada da função cumulativa de probabilidades	54
Figura 8: Buffers agrupando pontos de paradas de ônibus em diferentes sentidos.....	61
Figura 9: Buffers com tamanhos distintos, mas áreas de influência proporcionais	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Corredores em faixas centrais em Porto Alegre	39
Tabela 2: Estatística descritiva das variáveis selecionadas	71
Tabela 3: Regressão linear de variáveis para o modelo de frequência de acidentes totais.....	74
Tabela 4: Lista final de variáveis do modelo de frequência de atropelamentos.....	75
Tabela 5: Modelo binomial negativo para frequência de acidentes totais.....	76
Tabela 6: Variáveis significativas em atropelamentos no modelo binomial negativo	77
Tabela 7: Efeitos marginais para modelo de frequência de acidentes totais	77
Tabela 8: Efeitos marginais para modelo de frequência de atropelamentos	77
Tabela 9: Lista final de variáveis para o modelo de severidade de acidentes totais.....	79
Tabela 10: Lista final de variáveis para modelo de severidade de atropelamentos.....	80
Tabela 11: Modelo Logit Ordenado para acidentes totais.....	81
Tabela 12: Modelo Logit Multinomial para acidentes totais.....	82
Tabela 13: Modelo Multinomial para atropelamentos	83
Tabela 14: Efeitos marginais do modelo Logit Ordenado de acidentes totais	84
Tabela 15: Efeitos marginais do modelo Multinomial para acidentes totais.....	85
Tabela 16: Efeitos marginais do modelo Logit Multinomial para atropelamentos	85
Tabela 17: Comparação entre resultados dos efeitos marginais obtidos para os modelos de severidade	86
Tabela 18: Valores de ajuste dos modelos de severidade OL e MNL.....	87
Tabela 19: Efeitos marginais das variáveis AcIntersecao e Moto do modelo de frequência de acidentes totais.....	89
Tabela 20: Valores de ajuste dos modelos de severidade OL e MNL.....	106

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Métodos de avaliação de adequação de modelos (goodness of fit).....	56
Quadro 2: Resumo das variáveis candidatas	63
Quadro 3: Lista de variáveis avaliadas no estudo.....	66
Quadro 4: Resumo de impactos de variáveis de severidade de acidentes	101
Quadro 5: Resumo de impactos das variáveis significativas no modelo de severidade de atropelamentos.....	105
Quadro 6: Lista final de variáveis significativas nos modelos de frequência e severidade de acidentes no entorno de pontos de parada de ônibus.....	106
Quadro 7: Síntese das variáveis significativas nos modelos de frequência e severidade de acidentes no entorno de pontos de parada de ônibus.....	108

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVO	12
1.2	JUSTIFICATIVA	13
1.3	DELIMITAÇÕES	14
1.4	ESTRUTURA.....	15
2	ACIDENTALIDADE EM SISTEMAS PRIORITÁRIOS PARA ÔNIBUS	16
3	RELAÇÃO ENTRE ACIDENTALIDADE E AMBIENTE CONSTRUÍDO	23
3.1	ELEMENTOS DE INFRAESTRUTURA.....	25
3.1.1	Hierarquia viária	25
3.1.2	Condições de iluminação	28
3.1.3	Interseções	28
3.1.4	Faixas de travessia de pedestres	30
3.1.5	Outras características viárias	31
3.2	ELEMENTOS DO AMBIENTE CONSTRUÍDO	32
3.3	ELEMENTOS SOCIOECONÔMICOS	35
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	38
4.1	DEFINIÇÃO DE <i>BUFFERS</i>	41
4.2	SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS	42
4.3	ORGANIZAÇÃO DOS DADOS	42
4.4	MODELO DE FREQUÊNCIA DE ACIDENTES	43
4.4.1	Análise de multicolinearidade do modelo de frequência de acidentes	43
4.4.2	Estimação do modelo de frequência de acidentes	44
4.4.3	Cálculo dos efeitos marginais do modelo de frequência de acidentes	46
4.5	MODELO DE SEVERIDADE DE ACIDENTES	46
4.5.1	Análise de multicolinearidade do modelo de severidade de acidentes	47
4.5.2	Estimação do modelo de severidade de acidentes	47
4.5.3	Cálculo dos efeitos marginais do modelo de severidade de acidentes	53
4.6	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELOS DE SEVERIDADE	55
5	RESULTADOS	57
5.1	RESULTADO DA DEFINIÇÃO DE <i>BUFFERS</i>	57
5.2	RESULTADO DA SELEÇÃO DE VARIÁVEIS	62
5.3	RESULTADO DA ORGANIZAÇÃO DOS DADOS.....	72
5.4	RESULTADO DO MODELO DE FREQUÊNCIA DE ACIDENTES	73

5.4.1	Resultado da análise de multicolinearidade do modelo de frequência de acidentes	73
5.4.2	Resultado da estimação do modelo de frequência de acidentes	76
5.4.3	Resultado do cálculo dos efeitos marginais do modelo de frequência de acidentes	77
5.5	RESULTADO DO MODELO DE SEVERIDADE DE ACIDENTES.....	78
5.5.1	Resultado da análise de multicolinearidade do modelo de severidade de acidentes	78
5.5.2	Resultado da estimação do modelo de severidade de acidentes	80
5.5.3	Resultado do cálculo dos efeitos marginais do modelo de severidade de acidentes	83
5.6	RESULTADO DA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELOS DE SEVERIDADE	86
6	ANÁLISES E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	878
6.1	MODELO DE FREQUÊNCIA DE ACIDENTES TOTAIS.....	88
6.2	MODELO DE FREQUÊNCIA DE ATROPELAMENTOS	89
6.3	MODELO DE SEVERIDADE DE ACIDENTES TOTAIS.....	91
6.4	MODELO DE SEVERIDADE DE ATROPELAMENTOS	101
6.5	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELOS DE SEVERIDADE PARA ACIDENTES TOTAIS.....	105
7	CONCLUSÕES E SUGESTOES PARA TRABALHOS FUTUROS	107
	REFERÊNCIAS.....	112

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da urbanização da sociedade é um fenômeno observado mundialmente. Em 2014, 54% da população mundial residia em áreas urbanas, e até 2050 é esperado que esse número aumente para 66%. Na América Latina, a proporção da população urbana em relação à população rural é ainda maior. Aproximadamente 80% da população já vivia em áreas urbanas em 2014 nesse continente (UNITED NATIONS, 2015). O meio urbano proporciona maior qualidade e disponibilidade de serviços públicos e maiores oportunidades econômicas, influenciando a migração populacional a partir de áreas rurais.

A urbanização resulta em grandes demandas por mobilidade. O número de veículos privados no Brasil cresceu 43% entre 2010 e 2016, após incentivos fiscais e uma ascensão econômica de parte da população (DENATRAN, 2016). Entretanto, o uso massivo de veículos motorizados individuais resulta não apenas em um significativo aumento nos congestionamentos como também em outras externalidades negativas, como aumento de poluição do ar e acidentes de trânsito. Essas consequências, por sua vez, oneram o país financeiramente ao gerar impactos à saúde da população e perda produtiva.

As longas distâncias que tendem a ser percorridas em viagens diárias enfatizam a necessidade de ofertar alternativas de transporte eficientes, em termos individuais e coletivos. Do ponto de vista individual, os deslocamentos devem ser realizados de forma confortável, rápida, em um sistema confiável e a um preço acessível a todos. Do ponto de vista coletivo, deve ser oferecido um sistema adequado ao ambiente no qual se insere, produzindo o mínimo possível de externalidades indesejadas.

Os sistemas prioritários para ônibus são uma importante alternativa de mobilidade urbana. O transporte coletivo no Brasil representa 30% dos deslocamentos diários (ANTP, 2015) e move diariamente milhões de pessoas nas cidades. Entretanto, ao atrair pessoas para esses eixos de transporte, podem surgir pontos críticos de segurança viária. Há um grande volume de travessias de pedestres, em especial próximo a estações e pontos de parada, e muitas vezes é necessário lidar com novos conflitos entre ônibus e tráfego misto.

A forma como a cidade é planejada se relaciona diretamente com os padrões de viagem e influencia a acidentalidade, aqui definida como a ocorrência de acidentes de trânsito. Os elementos de infraestrutura e características do ambiente construído influenciam a escolha modal da população e afetam as demandas de viagem, as distâncias percorridas e a exposição ao tráfego, podendo resultar em acidentes de trânsito.

O transporte coletivo permite atender a demanda existente de forma mais eficiente e democrática quanto ao aproveitamento da infraestrutura viária. O serviço de transporte coletivo representa uma importante ferramenta de inclusão social nas cidades ao conectar zonas periféricas, muitas vezes com uma população de baixa renda, a regiões com oferta de empregos formais, maiores oportunidades de estudo e acesso a serviços públicos (IPEA, 2011).

As adequações de infraestrutura necessárias para a implantação de sistemas de transporte coletivo têm o potencial de contribuir para a redução de acidentes de trânsito (WRI, 2015). Esses resultados decorrem do gerenciamento de conflitos entre diferentes fluxos, da melhoria de acessos e passeios para pedestres e de eventuais ajustes adicionais de infraestrutura. Há, atualmente, 206 cidades do mundo com sistemas prioritários para ônibus, muitas das quais em países em desenvolvimento (BRT Center of Excellence *et al.*, 2017). Esses países concentram 90% das mortes no trânsito no mundo, ainda que sejam responsáveis por cerca da metade da frota de veículos individuais no mundo (WHO, 2015).

Entretanto, muitas vezes as implementações de sistemas prioritários para o transporte coletivo ocorrem apenas na infraestrutura dedicada em si, e as movimentações dos demais modos de transporte, inclusive pedestres, são desconsideradas. Há indícios de que grande parte dos acidentes no entorno de corredores de sistemas prioritários para ônibus não envolvem os ônibus propriamente ditos. Menos de 10% dos acidentes registrados neste entorno ocorreram nas faixas dedicadas ou envolveram ônibus (DUDUTA *et al.*, 2012).

Dessa forma, para garantir segurança nos sistemas prioritários para ônibus é necessário verificar as condições de infraestrutura nas áreas adjacentes às faixas dedicadas e no entorno do sistema, para identificar se existem elementos viários e do ambiente construído que afetam a ocorrência e severidade de acidentes próximo a vias com sistemas prioritários para ônibus. Com base nesse questionamento, este trabalho busca relacionar características físicas do ambiente construído com a acidentalidade e identificar a prevalência de fatores associados à ocorrência de acidentes viários no entorno de sistemas prioritários para ônibus.

1.1 OBJETIVO

Esta pesquisa tem por objetivo geral verificar a existência de relação entre elementos do ambiente construído com a ocorrência e severidade de acidentes viários no entorno de pontos de parada em sistemas prioritários para ônibus. Para isso, deseja-se atender os objetivos específicos a seguir:

- (i) identificar fatores de risco em segurança viária já documentados na literatura;
- (ii) estimar a influência dos fatores de risco identificados na ocorrência e severidade de acidentes viários no entorno de pontos de parada em sistemas prioritários para ônibus;
- (iii) comparar as estruturas dos modelos econométricos estimados para a severidade de acidentes de trânsito.

1.2 JUSTIFICATIVA

Apesar de sistemas de transporte coletivo representarem um importante papel na mobilidade urbana, o estudo dos impactos em segurança entre os sistemas prioritários para ônibus e o desenho urbano ainda é incipiente. A relação entre segurança viária e sistemas prioritários para ônibus em termos de segurança é pouco explorada na literatura, ao contrário de mais numerosos estudos operacionais e de qualidade do ar, por exemplo (WRI, 2015). A maior parte dos estudos existentes em segurança viária para sistemas de transporte coletivo foca em aspectos como tecnologia veicular e gestão da segurança, e pouco explora a relação entre estrutura urbana e segurança nesses sistemas.

Em 2014, foram registrados no Brasil 43.780 óbitos em acidentes de trânsito, resultando em uma taxa de 21,6 mortes a cada 100 mil habitantes e seguindo a mesma grandeza de anos anteriores (DATASUS, 2016; IBGE, 2014). O país se distancia da redução de 50% na taxa de mortes entre 2010 e 2020 como meta da Década de Ação pela Segurança no Trânsito, estabelecida pela Organização das Nações Unidas. A Década estrutura suas ações em cinco pilares: (i) gestão da segurança no trânsito; (ii) vias e mobilidade mais seguras; (iii) veículos mais seguros; (iv) usuários mais seguros; e (v) resposta pós-acidente para atendimento às vítimas (WHO, 2010).

As intervenções brasileiras no ambiente viário relativas ao segundo pilar, diretamente relacionado à forma como as vias são desenhadas, são, em geral, voltadas à garantia de fluidez do tráfego e muitas vezes desconsideram conceitos e boas práticas de desenho seguro. O impacto em segurança das intervenções, na maioria das vezes adotadas de forma pontual e reativa, não é usualmente monitorado. Ainda, a adoção de elementos de infraestrutura segura muitas vezes é confundida por projetistas e planejadores com o cumprimento de diretrizes e padrões locais (KARANTANOS; VARDAKI, 2013).

O número de viagens motorizadas está relacionado aos padrões de desenvolvimento frequentemente adotados (CERVERO; KOCKELMAN, 1997). Essa demanda por infraestrutura viária influencia o planejamento e o desenho viário em um ciclo vicioso, que

agrava as condições de segurança, em especial para os usuários mais vulneráveis da via. Para reverter essa situação, nos últimos anos, as cidades brasileiras receberam grandes incentivos para a mobilidade sustentável. A Política Nacional de Mobilidade Urbana estabeleceu como diretriz a "prioridade dos modos de transportes não motorizados sobre os motorizados e dos serviços de transporte público coletivo sobre o transporte individual motorizado" (BRASIL, 2012). Nesse período, significativos recursos foram destinados à implantação e requalificação de sistemas prioritários para ônibus nas cidades brasileiras.

A segurança viária é um elemento importante para a qualidade do sistema de transporte coletivo. É uma dimensão do serviço que pode impactar a forma como os sistemas são vistos pelos usuários e, conseqüentemente, a escolha modal destes. A maior segurança relacionada ao uso do transporte coletivo em comparação aos demais modos de transporte é percebida pelos usuários (NORDFJÆRN *et al.*, 2014; ELIAS; SHIFTAN, 2012). A escolha por modos mais seguros de transporte é essencial, em especial nos países em desenvolvimento, onde se concentram 90% das mortes no trânsito em todo o mundo (WHO, 2011).

As ações voltadas ao aumento da segurança viária no entorno de sistemas prioritários para ônibus dependem de um conhecimento abrangente sobre as características de infraestrutura do local, do entendimento dos impactos desses elementos e de ações proativas para reduzir a acidentalidade nesses locais. O estímulo a modos sustentáveis de transporte, incluindo modos não motorizados, depende do fornecimento de estruturas que garantam a segurança desses usuários da via. Para tanto, é essencial entender os fatores que influenciam a ocorrência e severidade de acidentes de trânsito nos principais eixos de transporte nas cidades, possibilitando promover melhorias nas deficiências identificadas e aumentar a segurança viária nas áreas urbanas.

1.3 DELIMITAÇÕES

Este estudo considerou elementos do ambiente construído e socioeconômicos para a identificação de fatores prevalentes na ocorrência e severidade de acidentes no entorno de pontos de parada de ônibus. Restringiu-se a pesquisa a corredores centrais em Porto Alegre. Não foram considerados aspectos comportamentais. Foram utilizados dados de acidentes registrados na cidade de Porto Alegre, entre 2012 e 2014. As análises realizadas estiveram condicionadas à precisão e ao detalhamento dos dados disponíveis. Não foram avaliados volumes e fluxos de tráfego. Os elementos socioeconômicos ou de ambiente construído cujos

dados não estivessem disponíveis ou passíveis de coleta dentro do cronograma da pesquisa não foram abordados na revisão bibliográfica, delimitando a pesquisa de literatura realizada.

1.4 ESTRUTURA

Este estudo está dividido em sete capítulos, organizados conforme estrutura apresentada na Figura 1. Após a introdução e apresentação do delineamento da pesquisa, os Capítulos 2 e 3 descrevem a revisão de literatura referente à acidentalidade em sistemas prioritários para ônibus e à relação entre acidentalidade e ambiente construído, respectivamente. O Capítulo 4 detalha as etapas metodológicas aplicadas e as decisões existentes em cada uma.

O Capítulo 5 descreve os resultados obtidos a partir de cada uma das etapas metodológicas apresentadas no Capítulo 4. O Capítulo 6 apresenta as análises e discussões sobre os resultados obtidos na etapa anterior. Por fim, o Capítulo 7 inclui considerações finais e recomendações para estudos futuros.

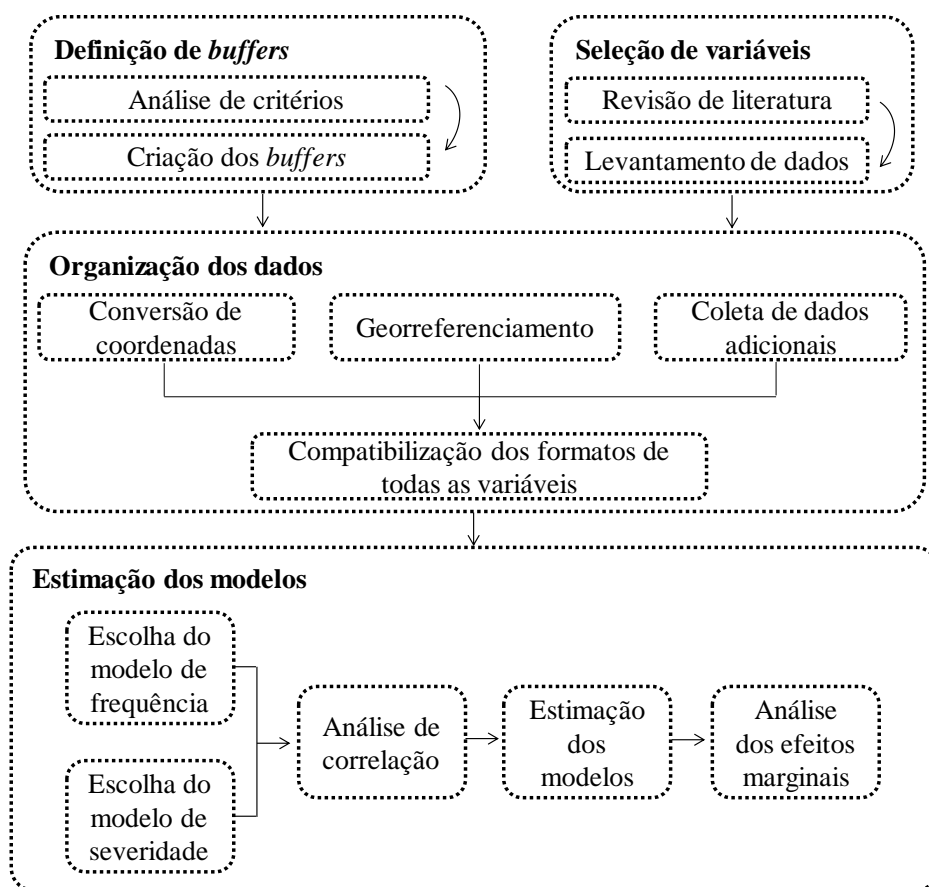


Figura 1: Estrutura da dissertação

(fonte: elaborado pela autora)

2 ACIDENTALIDADE EM SISTEMAS PRIORITÁRIOS PARA ÔNIBUS

Estudos na literatura têm buscado avaliar os padrões de segurança em sistemas de transporte coletivo em comparação a outros modos de transporte, tanto em relação aos usuários no interior do veículo quanto a possíveis vítimas no exterior deste. Litman (2017) avaliou a segurança viária relacionada a diferentes modos de transporte, como ônibus, sistemas de trilhos, caminhões e motocicletas com base em dados de acidentes de trânsito dos Estados Unidos. O resultado indica que a taxa de mortes para usuários de automóveis é 10 vezes maior do que de usuários de transporte coletivo por ônibus.

Vasconcellos (2013) consolidou estudos europeus avaliando a taxa de risco relativo de lesão no trânsito para diferentes modos de transporte. A comparação entre ônibus, automóveis e motocicletas indicou que há um risco de lesões de usuários de ônibus 90 vezes menor do que usuários de motocicleta, e risco de óbito 200 vezes menor para usuários de ônibus em relação a usuários de motocicleta. Esses valores indicam tanto a maior segurança relacionada ao uso de ônibus quanto o grande risco inerente ao uso da motocicleta.

Em um estudo similar a partir de dados da Noruega, Elvik *et al.* (2009) afirmam que sistemas de transporte coletivo estão mais usualmente relacionados do que outros modos motorizados de transporte a acidentes com vítimas feridas no exterior do veículo. Os autores identificaram que ônibus estão relacionados a um risco quatro vezes maior do que automóveis de causar ferimentos em usuários da via no exterior do veículo. No caso de veículos leves sobre trilhos (VLT), o risco é ainda maior: 50 vezes em relação a automóveis.

Os sistemas prioritários para ônibus, como as faixas exclusivas e os sistemas *bus rapid transit* (BRT) têm sido adotados como uma importante alternativa à mobilidade de cidades de países em desenvolvimento. Além de fornecerem maior flexibilidade em transporte coletivo do que sistemas de trilhos, possuem custos e tempo de implantação inferiores (HIDALGO; CARRIGAN, 2010).

Há registros na literatura em relação à segurança viária nos sistemas de transporte coletivo sob o ponto de vista do impacto da infraestrutura na ocorrência ou severidade de acidentes de trânsito (DUDUTA *et al.*, 2012, 2014, GOH *et al.*, 2013a, 2014; HEDELIN; BUNKETORP; BJÖRNSTIG, 2002; KAPLAN; PRATO, 2012). No entanto, ainda foram realizados poucos estudos do tipo. Grande parte das pesquisas realizadas ainda se concentra em avaliar questões comportamentais e socioeconômicas dos condutores, programas

abrangentes de segurança, fiscalização, metas e indicadores contratuais ou treinamento de condutores (KAPLAN; PRATO, 2012).

Com o intuito de melhorar as condições operacionais dos sistemas de transporte coletivo, algumas cidades adotam elementos de priorização da circulação desses veículos em detrimento dos demais. A segregação de sistemas de transporte coletivo pode contribuir com a segurança ao minimizar conflitos de tráfego (ELVIK *et al.*, 2009). Os sistemas prioritários para ônibus podem ter diferentes elementos e configurações (WRI, 2015), como por exemplo:

(i) faixas prioritárias para ônibus: faixas de tráfego destinadas à circulação prioritária de ônibus, em geral à direita da via, mas com o acesso de outros veículos permitido sob condições específicas, como para realização de conversões à direita. Algumas cidades permitem também o uso de faixas prioritárias de ônibus por táxis. Podem envolver restrições de horário de utilização, cedendo prioridade aos ônibus apenas nas horas de pico.

(ii) faixas exclusivas para ônibus: faixas de tráfego destinadas exclusivamente à circulação de ônibus. São frequentemente segregadas das demais faixas de tráfego por elementos como tachões ou blocos de concreto, para evitar que outros veículos tentem trafegar pelas faixas do ônibus.

(iii) prioridade semafórica: adoção de configuração semafórica com detecção de aproximação de ônibus. Na presença de faixas exclusivas ou prioritárias, os semáforos são atuados e os ônibus recebem sinal verde ao se aproximar, recebendo prioridade de passagem em relação aos veículos nas faixas de tráfego misto.

Experiências já documentadas reportam que os sistemas prioritários para ônibus propiciam uma redução significativa na ocorrência de acidentes (GOH *et al.*, 2013a, 2013b, 2014; WRI, 2015). Conforme analisado por Goh *et al.* (2013b), a adoção de sistema prioritário para ônibus em Melbourne, Austrália, resultou em redução de 53,5% na frequência de acidentes envolvendo ônibus, além de uma redução de 14% nos acidentes registrados na Região Metropolitana de Melbourne. Este último dado foi obtido através de um estudo antes-depois pelo método Bayesiano Empírico, com pressuposto de controle dos impactos dos demais fatores causais em grupos de referência.

O estudo de Goh *et al.* (2013a), conduzido em Melbourne (Austrália), analisou através de simulação computacional os benefícios em segurança de dois cenários distintos, utilizando como base um cenário de ônibus em tráfego misto: (i) mudança de faixa de tráfego existente junto ao meio-fio para prioritária e (ii) adição de faixa prioritária para ônibus junto ao meio-fio. Os resultados indicaram benefício em segurança de ambos os cenários, decorrentes da implantação de prioridade ao sistema de transporte coletivo.

Há indícios de que os impactos em segurança dos sistemas de transporte coletivo estejam mais relacionados a elementos da infraestrutura onde se trafega do que ao tipo de sistema ou à tecnologia adotada (WRI, 2015). Isso significa que pode não haver diferença entre o impacto de um sistema movido sobre trilhos ou sobre pneus em relação à segurança viária na situação em que ambos tenham uma configuração viária similar.

Entretanto, alguns estudos descrevem maior segurança dos ônibus em comparação a outros modos de transporte coletivo (ELVIK *et al.*, 2009; HEDELIN; BUNKETORP; BJÖRNSTIG, 2002; MOHAN, 2008; LITMAN, 2017). Veículos leves sobre trilhos, muito usados nas redes de transporte coletivo em áreas urbanas de países desenvolvidos, possuem massa muito maior do que ônibus, o que dificulta a frenagem e ação diante de conflitos na via e pode colocar em risco os outros usuários da via, em especial pedestres.

Os estudos de impactos em segurança viária comparativos entre diferentes modos de transporte coletivo são mais comuns em países desenvolvidos, onde as redes de transporte incluem maior número de alternativas. No Brasil, assim como em outros países em desenvolvimento, são pouco usuais sistemas sobre trilhos, em parte devido a seu custo mais elevado (HIDALGO; CARRIGAN, 2010). Um estudo sueco analisando a ocorrência de acidentes com vítimas feridas e fatais apontou indícios de maior risco de morte em acidentes envolvendo sistemas de veículos leves sobre trilhos em relação a sistemas de ônibus (HEDELIN; BUNKETORP; BJÖRNSTIG, 2002). Elvik *et al.* (2009) identificaram ainda um risco 13 vezes superior de ferimentos em usuários da via no exterior do veículo decorrentes do envolvimento de VLTs no acidente, se comparado ao risco de ferimentos em acidentes com ônibus, e 50 vezes superior ao risco de ferimentos diante do envolvimento de automóveis em acidentes. Similarmente, Litman (2017) descreve risco de ferimentos em usuários na parte exterior de VLTs quatro vezes superior ao risco em relação a ônibus.

Estima-se que a implantação do corredor BRT TransMilenio, em Bogotá, tenha contribuído com a redução de pelo menos 200 mortes no entorno do corredor implantado nos 9 primeiros anos de operação do sistema (EMBARQ, 2013). Entretanto, este é um dos poucos registros na literatura do impacto de um sistema de transporte coletivo na segurança viária de países em desenvolvimento, em parte devido à ausência de dados para avaliação da implantação desses sistemas nestes locais (VECINO-ORTIZ; HYDER, 2015). Grande parte das pesquisas ainda documenta apenas casos nos Estados Unidos e na Europa (LINDAU *et al.*, 2010).

O principal risco de acidentes viários identificado na literatura no entorno de sistemas de transporte coletivo diz respeito ao acesso de pedestres nas áreas de embarque e

desembarque. Devido à intensa movimentação de pedestres e demandas por travessia, esses locais podem concentrar considerável número de atropelamentos fatais (CAFISO; DI GRAZIANO; PAPPALARDO, 2013; CHEN; ZHOU, 2016; HEDELIN; BUNKETORP; BJÖRNSTIG, 2002; VERZOSA; MILES, 2016).

A percepção dos usuários do transporte coletivo em relação à segurança viária pode afetar a escolha do modo de transporte. Um estudo conduzido na Arábia Saudita indica que a população tende a optar pela utilização de transporte coletivo como uma forma de aumentar a sua segurança no trânsito. Os sistemas de transporte coletivo são, de forma geral, percebidos como mais seguros pelos usuários em relação a veículos particulares, ainda que de forma empírica (NORDFJÆRN *et al.*, 2014; ELIAS; SHIFTAN, 2012).

De fato, há evidência de que, entre os veículos motorizados, os ônibus contribuem em maior extensão para a segurança no trânsito, garantindo maior segurança aos seus passageiros, e afetam principalmente usuários da via no exterior do veículo (ABAY, 2013; ELVIK *et al.*, 2009; VASCONCELLOS, 2013; LITMAN, 2017). Estes estudos analisam o risco de lesões em acidentes de trânsito em diferentes veículos motorizados e identificam a segurança relacionada ao uso de cada um desses modos de transporte. De forma similar em todos os estudos citados, identificou-se menor risco dos deslocamentos por ônibus em relação aos deslocamentos realizados por modos individuais motorizados de transporte, como automóveis ou motocicletas, ou mesmo em relação a outros modos de transporte coletivo, como VLTs.

Ao analisar os impactos em segurança da implantação de segregação viária para VLTs, entretanto, Richmond *et al.* (2014) identificaram que a medida de priorização do sistema impactou em menor número de acidentes com crianças, adultos e com ferimentos leves. Os autores não identificaram diferenças relevantes no que se refere à segurança de idosos. O estudo foi realizado a partir de dados de Toronto, Canadá, coletados entre 2000 e 2011.

Os acidentes que ocorrem nas proximidades de sistemas prioritários para ônibus estão, em sua maioria, relacionados ao restante do tráfego e não ao transporte coletivo em si. Em estudo apresentado por Duduta *et al.* (2012) a partir de dados de acidentes obtidos de nove sistemas prioritários para ônibus no mundo, incluindo Porto Alegre, Brasil, constatou-se que mais de 90% das ocorrências registradas nas proximidades de sistema prioritários foram registradas em faixas de tráfego misto e envolviam outros veículos.

Entretanto, é importante avaliar a infraestrutura viária de forma mais abrangente do que apenas na extensão dedicada ao transporte coletivo pois, ainda que os ônibus não estejam envolvidos na grande maioria dos acidentes, uma infraestrutura mal planejada no entorno dos

sistemas prioritários para ônibus pode impactar a segurança de outros usuários da via. Brenac e Clabaux (2005) afirmam que há uma determinada parcela de envolvimento direto de ônibus em acidentes de trânsito, e uma parcela equivalente ao dobro ou ainda mais dessa de influência indireta de ônibus em ocorrências. Entre possíveis exemplos de envolvimento indireto de ônibus estão: a obstruções de visibilidade provocadas devido ao grande porte dos ônibus; ou ainda a travessias de pedestres em locais inseguros para acessar o sistema.

Em um estudo dos impactos de sistemas de ônibus em segurança no trânsito, Chimba, Sando e Kwigizile (2010) identificaram variáveis relacionadas ao ambiente construído relevantes tanto à frequência quanto à severidade de acidentes. A pesquisa, realizada a partir de dados da Flórida, Estados Unidos, indica que a presença de múltiplas faixas de tráfego, assim como o número de veículos por faixa, são significativos para o aumento do número de acidentes. Em relação à largura das faixas, o aumento das larguras estava relacionado a maior segurança do sistema. Os autores atribuem esse resultado a haver mais espaço de manobra disponível para os condutores.

O embarque e desembarque em sistemas prioritários para ônibus demandam velocidades mais baixas dos condutores, devido à necessidade de parada do ônibus. O diferencial de velocidade em relação ao tráfego misto e o grande número de conflitos próximo a paradas pode levar a um maior risco de acidentes nestes locais. Kaplan e Prato (2012) identificaram que limites de velocidade muito altos ou muito baixos são relevantes para o aumento no risco de acidentes com vítimas. Os autores identificaram ainda como elementos de risco características do condutor e interseções. Ainda que interseções concentrem maior número de conflitos, esses locais geralmente são acessados em velocidades moderadas, o que reduz a severidade de acidentes no local.

Os pontos de paradas são locais críticos para garantir a segurança de sistemas prioritários para ônibus. Hedelin, Bunketorp e Björnstig (2002) identificaram que 75% das vítimas feridas em acidentes com ônibus e veículos leves sobre trilhos (VLT) se envolveram em acidentes em pontos de parada ou de travessia de pedestres. No estudo de Cafiso, Di Graziano e Pappalardo (2013), concluiu-se que o desembarque de passageiros e as travessias de pedestres próximos aos pontos de parada são as ações mais perigosas nos sistemas de transporte coletivo no que se refere à segurança de usuários vulneráveis da via.

Ao avaliar, a partir de dados de Seattle, Estados Unidos, os efeitos do ambiente construído na frequência e severidade de atropelamentos, Chen e Zhou (2016) indicam um aumento no risco de atropelamentos em áreas com alta densidade de paradas de ônibus. Entende-se que distâncias mais curtas entre pontos de parada de ônibus resultam em maior

número de travessias de pedestres e acelerações e frenagens dos ônibus. O estudo de atropelamentos realizado por Verzosa e Miles (2016) com base em dados de três cidades da região metropolitana de Manila, nas Filipinas, identificou também maior risco de atropelamentos próximo a estações de embarque e desembarque de sistemas de transporte coletivo. Estes autores descrevem ainda que isso é agravado em áreas com renda média mais baixa, nas quais os moradores são mais dependentes desses sistemas e se expõem mais para acessar o transporte coletivo.

Brenac e Clabaux (2005), entretanto, não identificaram relação dos acidentes com pontos de parada de ônibus em estudo realizado em Boulogne–Billancourt, subúrbio de Paris, França. A pesquisa se baseou em uma busca pelo termo *bus* (ônibus) nos registros de acidentes da comunidade em um período de 5 anos. Nesse estudo, grande parte das ocorrências, em especial envolvendo pedestres, estiveram relacionadas à proximidade com interseções e a obstruções de visibilidade causadas pelos ônibus. Similarmente, Mohamed *et al.* (2013) indicam que a presença de rotas de transporte coletivo está relacionada a um menor risco de atropelamentos fatais. Isso estaria relacionado à maior urbanização das áreas nas quais esses sistemas estão inseridos. Estudo realizado por Goh *et al.* (2013b) indica que a oferta de medidas físicas de priorização do transporte por ônibus contribui para reduzir os conflitos em pontos de parada e interseções.

A análise de corredores exclusivos de ônibus em Porto Alegre realizada por Cardoso e Goldner (2004) indica maior incidência de atropelamentos com vítimas no entorno dessas infraestruturas. Os autores identificaram também menor ocorrência de acidentes relacionada a maior número de pedestres realizando travessia da via em locais sinalizados e nas fases semafóricas seguras. Isso ressalta a importância de planejar a infraestrutura dos sistemas prioritários para ônibus considerando oportunidades seguras de acesso dos pedestres.

Duduta *et al.* (2013) destacam a importância de se ter um bom entendimento dos padrões de uso do solo para proceder ao planejamento de infraestruturas de acesso aos sistemas prioritários para ônibus. O planejamento de tais acessos deve levar em consideração tanto a segurança dos pedestres, entendendo o seu comportamento no ambiente viário, quanto o impacto que as instalações para pedestres podem gerar no tráfego dos demais usuários do sistema:

Entretanto, a chave para obter um sistema seguro e ao mesmo tempo de alto desempenho é entender, por exemplo, como diferentes usos do solo no entorno do corredor (ex.: shoppings) podem impactar a demanda por travessia de pedestres no corredor. Então, a questão se torna como melhor oferecer elementos para a travessia segura para pedestres, que considerem o comportamento destes, ao mesmo tempo compreendendo o impacto dessas instalações no desempenho do sistema de transporte coletivo (DUDUTA *et al.*, 2013, tradução nossa).

Kaplan e Prato (2012) identificaram maior parcela de acidentes envolvendo ônibus em vias de dois sentidos de circulação, muitas vezes com maior risco de ferimentos devido à maior complexidade desses ambientes. O grande porte de ônibus faz com que muitas vezes os condutores não consigam frear a tempo de evitar acidentes. Também em decorrência do porte do ônibus, os acidentes envolvendo este tipo de veículo tendem a causar ferimentos graves. Como resultado, acidentes envolvendo ônibus aumentam o risco de acidentes graves e atropelamentos fatais (ABAY, 2013; POUR-ROUHOLAMIN; ZHOU, 2016).

Em vias de sentido único de circulação, um elemento utilizado para garantir prioridade ao transporte coletivo são as faixas em contrafluxo. Essas faixas propiciam a priorização do sistema de transporte coletivo ao garantir uma faixa de circulação em sentido oposto às demais faixas da via. Essa configuração, entretanto, traz sérias implicações em segurança, em especial para pedestres, que podem ser surpreendidos pelos ônibus ao atravessar a via. O aumento no risco de atropelamentos está relacionado ao fato de que a circulação dos ônibus se dá em um sentido intuitivamente não esperado para a via. Faixas em contrafluxo estão relacionadas a um aumento de 83% no risco de acidentes graves e de 146% no risco de atropelamentos (WRI, 2015).

3 RELAÇÃO ENTRE ACIDENTALIDADE E AMBIENTE CONSTRUÍDO

Este capítulo descreve a literatura referente à relação entre segurança viária e ambiente construído. Embora alguns estudos avaliando impactos de sistemas prioritários para ônibus tenham destacado a importância de compreender a relação destes sistemas com o ambiente construído para garantir a segurança da operação, foram identificados poucos trabalhos específicos analisando a relação entre acidentalidade, ambiente construído e sistemas prioritários para ônibus.

O estudo da relação entre características da estrutura urbana e segurança viária se intensificou na última década. Ewing e Dumbaugh (2009) indicam que os padrões de desenvolvimento urbano e desenho viário afetam a segurança viária através dos volumes de tráfego gerados e pelas velocidades que as características da estrutura urbana influenciam. Acredita-se que os volumes de tráfego afetam a frequência de acidentes, enquanto as velocidades impactam a severidade destes (EWING; DUMBAUGH, 2009).

As longas distâncias que precisam ser percorridas no atual modelo de desenvolvimento urbano incentivam o uso de veículos motorizados. A motorização, por sua vez, impacta negativamente a segurança viária. Diversos estudos têm reportado na literatura a quilometragem percorrida como um importante preditor na ocorrência de acidentes de trânsito (DUMBAUGH; LI; JOH, 2013; EWING; DUMBAUGH, 2009; LOVEGROVE; SAYED, 2006). Grande parte desses estudos é baseada no contexto de cidades dos Estados Unidos. Uma análise dos dados de acidentes de trânsito nos Estados Unidos em 2008 apontou forte correlação entre a quilometragem total percorrida *per capita* e o número de mortes no trânsito (EMBARQ, 2013).

Em um estudo comparativo entre diferentes estados dos Estados Unidos, Garceau *et al.* (2013) buscaram estimar os custos sociais, econômicos e ambientais de sistemas de transportes orientados ao uso de automóveis particulares. Em uma análise com base nas taxas de milhas percorridas por veículo (VMT), os autores identificaram que uma redução de 50% no VMT poderia diminuir em até 80% acidentes fatais com veículos. A relação identificada não é linear. Segundo os autores, estados com um VMT *per capita* três vezes maior do que o de outros estados resultaram em cinco vezes mais mortes no trânsito. Dessa forma, os autores ressaltam a importância de desestimular o uso de veículos privados como uma forma de salvar vidas no trânsito.

No estudo da relação entre acidentes envolvendo pedestres e características do ambiente construído conduzido por Wier *et al.*(2009), com base em dados da Califórnia, Estados Unidos, identificou-se que os volumes de tráfego são uma causa ambiental primária de acidentes com pedestres resultando em ferimentos. Outros fatores identificados como relevantes pelos autores incluem parcela de vias arteriais e características de uso do solo em uma determinada região.

Em uma revisão de literatura relacionando o ambiente construído à segurança viária, Ewing e Dumbaugh (2009) também identificam o impacto de VMT na segurança. Os autores afirmam que formas urbanas mais compactas têm o potencial de reduzir o VMT dessas áreas, contribuindo para reduzir a ocorrência de acidentes nesses locais, ainda que a magnitude e estratégias para alcançar esses benefícios sigam incertos na literatura. Os autores descrevem ainda que, embora possam resultar em maior número de conflitos, altos volumes de tráfego podem contribuir para a segurança ao reduzir os riscos de acidentes fatais. Isso ocorre devido às interrupções frequentes no tráfego urbano, induzindo velocidades inferiores.

Os volumes de tráfego são também identificados por Ukkusuri *et al.* (2012) como um dos elementos relevantes ao risco de atropelamentos. A estrutura conceitual adotada pelos autores é apresentada na Figura 2. Na abordagem apresentada pelos autores, a ocorrência de acidentes envolvendo pedestres está relacionada a determinantes de exposição ao risco. Estas, por sua vez, estão relacionados a elementos do ambiente construído: padrões de uso do solo; infraestrutura viária, oferta de transporte coletivo e padrões de viagem; e características socioeconômicas da população em estudo.

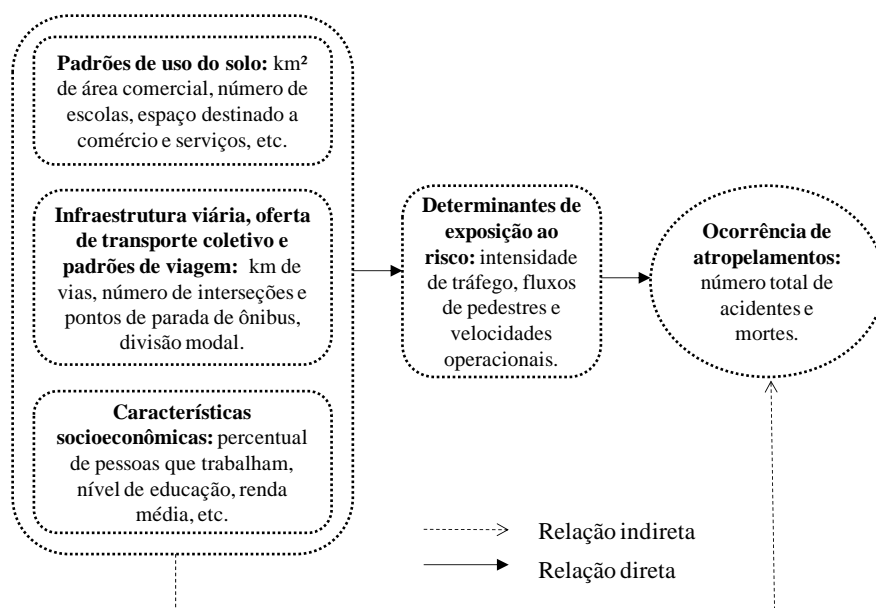


Figura 2: Relação entre ambiente construído e ocorrência de atropelamentos

(fonte: adaptado de Ukkusuri *et al.* (2012))

3.1 ELEMENTOS DE INFRAESTRUTURA

Neste item, são apresentadas as evidências reportadas na literatura sobre o impacto de elementos de infraestrutura na frequência e severidade de acidentes de trânsito. Os itens descritos são referentes à geometria da via e a condições de circulação, que influenciam no tráfego e, por consequência, à segurança de circulação na região.

3.1.1 Hierarquia viária

A hierarquia viária constitui um importante fator associado à ocorrência e à severidade de acidentes de trânsito. A classificação viária influencia a velocidade indicada para a circulação motorizada na via. Além disso, diferentes níveis de hierarquia viária podem estar relacionados a diferentes complexidades, usos do solo ou densidades no entorno viário. As vias arteriais, de maior velocidade em áreas urbanas, formam importantes eixos de transporte e muitas vezes com concentração de áreas comerciais e de serviços em seu entorno, e podem concentrar conflitos mais severos. Em Nova York, apesar de representarem apenas 15% do total de vias da malha viária, as vias arteriais concentravam mais de 65% dos acidentes graves envolvendo pedestres na cidade (NYCDoT, 2010a).

Com isso, na última década muitos esforços têm sido empregados em Nova York para aumentar a segurança dos usuários vulneráveis da via no trânsito. As ações incluem medidas físicas de moderação de tráfego, requalificação de espaços públicos, reduções nos limites de velocidade em área urbana para até 40 km/h e planos abrangentes de segurança (NYCDoT, 2010a; 2010b; 2014). Como resultado, a taxa de mortes no trânsito a cada 100 mil habitantes da cidade foi reduzida em mais de 50%.

Outros autores também identificaram o maior risco relacionado a vias arteriais. Conforme Dumbaugh e Rae (2009), a cada milha de via arterial é relacionado um aumento de 15% no total de acidentes registrados e de 20% nos acidentes fatais. Isso se relaciona possivelmente às poucas interrupções de tráfego nessa classificação de via, muitas vezes destinada a acomodar altos fluxos, ainda que para isso afete a conectividade local e desconsidere as demandas de uso do solo.

As vias arteriais se destinam ao tráfego de passagem e com menor acesso a lotes lindeiros. O menor número de interrupções faz com que essas vias concentrem fluxo viário em velocidades mais altas, o que pode trazer riscos principalmente aos pedestres (ABAY,

2013; DUMBAUGH; LI; JOH, 2013; FUENTES; HERNANDEZ, 2013; WIER *et al.*, 2009; ZAHABI *et al.*, 2011).

O estudo de Wier *et al.* (2009) sobre a segurança de pedestres em relação a volumes de tráfego, realizado com base em dados da Califórnia, Estados Unidos, aponta que um incremento de 5 unidades na proporção de extensão viária arterial sem transporte coletivo está relacionado a um aumento de 8% nos atropelamentos com feridos. Assim, ainda que os sistemas de transporte coletivo estejam em diferentes pesquisas relacionados a maior risco de atropelamentos próximo aos pontos de parada, a hierarquia da via é por si um relevante elemento para a segurança de pedestres, com grande risco em vias arteriais.

O risco de vias arteriais para pedestres foi também observado por Dumbaugh, Li e Joh (2013). Os autores identificaram um aumento de 12% nos acidentes totais e atropelamentos com vítimas feridas ou fatais relacionado a cada milha adicional de via arterial em um conjunto de bairros. O estudo avaliou a relação entre ambiente construído e a segurança de pedestres e ciclistas e foi realizado com dados da região metropolitana do Condado de San Antonio-Bexar, também nos Estados Unidos.

Em um estudo sobre o impacto de elementos do ambiente construído na severidade de acidentes entre pedestres e ciclistas com veículos motorizados, Zahabi *et al.* (2011) encontraram aumento de 1,12 vezes no risco de atropelamentos fatais e de 1,06 vezes no risco de acidentes fatais com ciclistas em acidentes ocorridos em vias arteriais, em comparação a acidentes ocorridos em vias locais. A pesquisa foi realizada através da aplicação do modelo *Logit* Ordenado em dados de acidentes registrados ao longo de quatro anos em Montreal, Canadá. O estudo analisou cinco diferentes raios de estudo (*buffers*), verificando a significância das variáveis de interesse em cada uma das áreas delimitadas.

Por outro lado, em pesquisa conduzida por Zhang *et al.* (2015), os resultados indicam que vias arteriais poderiam beneficiar a segurança de pedestres e ciclistas. O estudo, realizado na Califórnia, Estados Unidos, descreve que redes viárias centradas em grandes vias arteriais podem resultar em menor número de pedestres e ciclistas envolvidos em acidentes. A análise decorre do pressuposto de que vias arteriais usualmente dispõem de melhor infraestrutura para usuários vulneráveis, e que, ao direcionar os fluxos de veículos motorizados para estas vias, os pedestres e ciclistas têm menor exposição ao tráfego e, conseqüentemente, maior segurança para circular por vias locais.

Uma característica relevante das vias arteriais e que pode impactar no nível de segurança está associada ao seu desenho. As vias arteriais são usualmente aquelas de maior porte na rede urbana. Existem indícios de que a largura das vias pode afetar negativamente a

segurança (EWING; DUMBAUGH, 2009). No intuito de atender a crescente demanda de circulação de grandes volumes de veículos privados, as vias são alargadas. Frequentemente, o alargamento de vias ocorre com o objetivo de aumentar o número de faixas, para aumentar a sua capacidade na tentativa de reduzir congestionamentos. É importante observar também que verifica-se ainda o alargamento das faixas em si, com o intuito de acomodar fluxos em maiores velocidades, seguindo características de ambientes rurais em áreas urbanas. Isso possibilita que os condutores empreguem velocidades mais altas de circulação, o que traz riscos à segurança de todos usuários, em especial dos pedestres e ciclistas.

O número de faixas de tráfego, e a caixa viária mais larga decorrente do aumento dessas, pode comprometer a segurança dos usuários da via em áreas urbanas, em especial de pedestres e ciclistas. Em um estudo realizado a partir da aplicação de modelos de regressão Binomial Negativo em dados de acidente registrados ao longo de cinco anos em Nova York, Ukkusuri *et al.* (2012) identificaram aumento no risco de atropelamentos diante do aumento do número de faixas e da largura viária. Os autores atribuem esse resultado às velocidades mais altas propiciadas por essas infraestruturas e ao maior volume de tráfego que essas vias concentram, além de grandes distâncias de travessia de pedestres, que aumentam o tempo de exposição dos pedestres ao tráfego, colocando-os em risco.

Pour-Rouholamin e Zhou (2016) identificaram também evidências de que a largura viária impacta a segurança na via. Um estudo conduzido pelos autores em Illinois, Estados Unidos, indicou aumento de 22,3% na probabilidade de acidentes graves em vias de múltiplas faixas e pistas. Resultados similares são apresentados por Kaplan e Prato (2012) a partir de um estudo realizado também nos Estados Unidos. Os autores identificaram maior risco de acidentes com vítimas feridas em vias com múltiplas faixas de rolamento, assim como vias com dois sentidos de circulação.

O risco relacionado a vias com mais faixas também foi documentado por Chimba, Sando e Kwigizile (2010), em um estudo sobre impactos de sistemas de ônibus na segurança. Os autores descrevem maior risco de ocorrência de acidentes em vias com múltiplas faixas. Entretanto, contrastando com Ukkusuri *et al.* (2012), faixas mais largas indicaram estar relacionadas a maior segurança de circulação em sistemas para ônibus. Os autores entendem que esse resultado é devido à oferta de maior espaço viário para que os condutores possam fazer manobras abruptas e desviar de conflitos, o que pode evitar a ocorrência de acidentes.

3.1.2 Condições de iluminação

As condições de iluminação na via podem contribuir com a segurança. Estudos indicam que a ausência de iluminação pode trazer problemas de visibilidade, colocando em risco principalmente pedestres e ciclistas (ELVIK *et al.*, 2009). Por outro lado, iluminação excessiva (luz do período diurno ou iluminação artificial) também pode representar um problema. Luz em excesso ou estruturas de iluminação mal posicionadas podem prejudicar a visão dos condutores, causando ofuscamento (REDELMEIER; RAZA, 2017).

Em estudo conduzido por Abay (2013) a partir de registros de acidentes na Dinamarca, foi identificado que condições de baixa iluminação na via, tanto natural quanto iluminação artificial, aumenta a probabilidade de atropelamentos fatais. Pour-Rouholamin e Zhou (2016) identificaram, de forma similar, maior probabilidade de acidentes graves durante o período da noite e de madrugada. Kaplan e Prato (2012) relacionam também condições de pouca iluminação ou luz artificial a um maior risco de acidentes graves e fatais. Shaheed *et al* (2013) obtiveram resultados consistentes aos demais estudos em relação às condições de luminosidade e a segurança viária. Os autores descrevem menor probabilidade de acidentes graves e fatais envolvendo motocicletas durante o dia.

Como forma de aumentar a segurança de pedestres na travessia de vias, acredita-se na vantagem de uso de iluminação artificial nesses espaços. O uso de iluminação artificial sobre faixas de travessia de pedestres é relacionado a uma redução de 63% no total de acidentes registrados, demonstrando beneficiar a segurança não apenas de pedestres como também dos demais usuários da via (ELVIK *et al.*, 2009). Em pesquisa realizada pela Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET-SP), identificou-se que 90% dos pedestres e dos condutores consideravam que esse elemento tornou mais segura a travessia de pedestres, após a implantação do programa “Faixa de Pedestres Iluminada” na cidade (CET-SP, 2017).

3.1.3 Interseções

Os impactos em segurança de interseções são amplamente discutidos na literatura (LOVEGROVE; SAYED, 2006; MARSHALL; GARRICK, 2011; WALTON; BUCHANAN; MURRAY, 2013; ZAHABI *et al.*, 2011; ZHANG *et al.*, 2015). As interseções concentram grande número de conflitos, em especial quando permitem diversidade de movimentos do tráfego motorizado. Entretanto, provocam interrupções do tráfego, contribuindo para reduzir a velocidade dos condutores. Em interseções com declive viário, Elvik *et al.* (2009)

identificaram maior incidência de acidentes, devido a problemas de visibilidade e dificuldade dos condutores em realizar paradas, no caso de estarem impulsionados pelo declive, e de aceleração, também devido às forças atuantes no veículo devido ao declive.

O estudo realizado por Zhang *et al.* (2015) com base em dados da Califórnia, Estados Unidos, indicou que redes viárias com maior número de interseções podem resultar em menos acidentes envolvendo pedestres e ciclistas. A presença de interseções frequentes força reduções de velocidade e paradas dos condutores, contribuindo para reduzir a velocidade do tráfego e diminuir a severidade de acidentes que porventura ocorram. Lovegrove e Sayed (2006) apresentam resultado similar, indicando que, quanto menor o segmento ininterrupto de via, mais devagar fluirá o tráfego, o que resulta em menos severidade dos acidentes.

Em uma análise de acidentes apenas entre automóveis ou com automóveis e motocicletas a partir de banco de dados da Nova Zelândia, Walton, Buchanan e Murray (2013) indicam que interseções sem controle formal de parada (sinalização indicativa) causam maior risco de acidentes envolvendo motocicletas do que apenas entre automóveis. No estudo de Marshall e Garrick (2011), avaliando a partir de dados da Califórnia, Estados Unidos, a acidentalidade de redes viárias, identificou-se que maior número de interseções em determinada região está associado a uma redução de acidentes em todos os níveis de severidade.

Embora as interseções possam estar relacionadas a um aumento no número de conflitos, os acidentes que ocorrem em interseções tendem a ser menos severos. Os pedestres têm menores riscos de acidentes graves ou fatais em interseções, de acordo com Zahabi *et al.* (2011). O estudo afirma haver um risco 21% menor de morte de pedestres em acidentes ocorridos em interseções se comparados a acidentes ocorridos fora de interseções. Por outro lado, o mesmo estudo indica um pequeno aumento no risco de morte de ciclistas em interseções. Entretanto, o valor referente ao impacto na morte de ciclistas foi muito pequeno. Deve haver cautela ao interpretá-lo, diante de todas as incertezas inerentes à modelagem, como limitações de dados e técnicas e procedimentos da metodologia de avaliação dos dados.

Uma das ferramentas de gestão de tráfego mais frequentemente utilizadas para acomodar os conflitos em interseções são semáforos. Kim *et al.* (2008) identificaram, em estudo realizado na Carolina do Norte, Estados Unidos, uma redução de 36,3% na probabilidade de acidentes fatais com a implantação de semáforos. Esses elementos organizam os movimentos na área da interseção e minimizam os conflitos. Dependendo da configuração semafórica adotada, podem também aumentar a segurança dos pedestres realizando travessia.

Em relação ao número de aproximações, Lovegrove e Sayed (2006) identificam maior risco de acidentes em interseções de quatro aproximações do que em interseções de três aproximações (interseções em T). As interseções de três aproximações possuem menor número de movimentos possíveis, o que diminui o número de conflitos nesses locais e pode explicar seu menor risco de acidente quando comparadas a interseções de quatro aproximações.

Ao avaliar a relação entre o ambiente construído e a segurança de pedestres e ciclistas, Dumbaugh, Li e Joh (2013) identificaram que interseções com quatro aproximações estão relacionadas a um aumento no número de atropelamentos e colisões com ciclistas. Por outro lado, as interseções com três aproximações tiveram impacto negativo, embora estatisticamente não significativo, na ocorrência de acidentes com usuários vulneráveis. Os autores ressaltam ainda a possibilidade de garantir a conectividade viária através de interseções de três aproximações, considerando seu baixo impacto na segurança de pedestres e ciclistas.

De forma consistente com os demais estudos, Zhang *et al.* (2015) descrevem um aumento da taxa de acidentes em relação ao número de interseções com quatro aproximações, colocando em risco principalmente pedestres e ciclistas. As hipóteses levantadas pelos autores para esse resultado são o maior número de conflitos que ocorrem nesses locais e um problema de causalidade x correlação e limitação do modelo de regressão Binomial Negativo, adotado no estudo: as interseções de quatro aproximações são mais frequentes em áreas centrais, nas quais há maiores volumes de pedestres e ciclistas circulando.

3.1.4 Faixas de travessia de pedestres

As faixas de travessia de pedestres são elementos de infraestrutura frequentemente adotados para sinalizar a preferência de pedestres em pontos de travessia. Estudos indicam que as faixas de travessia contribuem para a segurança dos pedestres, ainda que em alguns casos possam impactar negativamente a segurança destes (KIM *et al.*, 2008; MOHAMED *et al.*, 2013; POUR-ROUHOLAMIN; ZHOU, 2016). São, usualmente, instaladas em locais com altos volumes de travessia ou em locais com alto risco de atropelamentos. Por esse motivo, as análises dos impactos de faixas de travessia na segurança de pedestres podem ter uma interpretação equivocada: embora correlacionadas com a ocorrência de acidentes, essas infraestruturas não necessariamente são causais para acidentes.

A análise do impacto das faixas de travessia de pedestres é um fenômeno similar ao descrito por Lord e Mannering (2010) e por Mannering e Bhat (2014) a respeito da limitação de modelos para diferenciar a associação entre variáveis e a relação causa e efeito entre variáveis. Os autores descrevem a tendência que pode ser incorporada aos modelos devido ao problema de endogeneidade, que pode gerar distorções nas análises e resultados. Em ambientes nos quais a presença de gelo e neve é um problema comum de segurança e pode levar a maior número de acidentes, a estimação de modelos pode indicar maior frequência de acidentes relacionada à presença de sinalização vertical indicativa de perigo de gelo e neve por sua associação a locais com maior incidência de acidentes.

De forma geral, as faixas de travessia de pedestres reduzem o risco de atropelamentos fatais (KIM *et al.*, 2008; MOHAMED *et al.*, 2013; POUR-ROUHOLAMIN; ZHOU, 2016). Estudo conduzido por Mohamed *et al.* (2013) indica, entretanto, maior risco de acidentes fatais com idosos e crianças de até 5 anos, além de maior probabilidade de atropelamentos fatais em faixas de travessia de pedestres sem controle semafórico. Pour-Rouholamin e Zhou (2016) identificaram redução de 12,3% na probabilidade de acidentes severos, mas um aumento de 6,3% no risco de acidentes leves em faixas de travessia de pedestres. Kim *et al.* (2008) encontraram maior risco de acidentes incapacitantes nesses locais.

3.1.5 Outras características viárias

Alguns estudos avaliam o impacto em segurança da presença de líquidos na superfície viária, seja devido à chuva ou ao vazamento de alguma substância. Intuitivamente, a superfície viária molhada pode dificultar a frenagem e levar a acidentes, mas, por outro lado, os condutores podem adotar uma postura mais cuidadosa nessas condições. O estudo de Shaheed *et al.* (2013) indica que a condição seca da superfície da via, ou seja, sem substâncias líquidas no pavimento, foi significativa para acidentes fatais ou graves e leves. Isso é atribuído a um possível comportamento mais arriscado dos condutores em condições favoráveis.

Em um resultado similar, Kaplan e Prato (2012) identificaram que superfície viária seca, é significativamente associada a um pequeno aumento na probabilidade de acidentes fatais, mas resultou também em uma redução na probabilidade de ferimentos leves. Os autores ressaltam que as condições climáticas (incluindo presença de chuva), que influenciam na superfície da via, não foram significativas, possivelmente devido à presença de colinearidade entre condições climáticas e condições da superfície viária. Em pavimentos molhados, é

provável que os veículos trafeguem em velocidades mais baixas e com maior cautela. Sendo assim, a mudança de comportamento do condutor compensa o risco imposto por características adversas do ambiente viário (ELVIK *et al.*, 2009).

Em relação às calçadas, Elvik *et al.* (2009) descrevem os passeios como importantes elementos para a segurança de pedestres, estando associados a uma redução na probabilidade de atropelamentos. No mesmo estudo, observou-se aumento de acidentes entre veículos em vias com calçadas, possivelmente devido ao incentivo e maior interesse na caminhada em vias com infraestruturas para pedestres. Stevens e Salmon (2014), entretanto, ressaltam a importância de prover calçadas que atendam a condições de qualidade para que seja garantida a segurança dos pedestres.

Um dos elementos que muitas vezes afetam a qualidade dos passeios de pedestres é a presença de vegetação e arborização. As árvores muitas vezes são colocadas na faixa de circulação de pedestres, criando irregularidades no pavimento e se tornando obstáculos, que podem também afetar significativamente as condições de visibilidade entre pedestres e veículos e agravar problemas de segurança (FHWA, 2013). Embora as árvores sejam elementos perigosos em ambientes rurais quando implantadas adequadamente em áreas urbanas podem aumentar a segurança das vias. Nas vias rurais, causa preocupação o risco associado à colisão dos veículos em alta velocidade contra as árvores nos casos de saída de pista. Já no meio urbano, a vegetação nas laterais da via, além da contribuição para qualidade do ar e moderação da temperatura pode favorecer a segurança viária ao gerar um estreitamento viário visual e resultando em velocidades mais baixas (EWING; DUMBAUGH, 2009).

3.2 ELEMENTOS DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

O ambiente construído usualmente é representado por três componentes principais: (i) padrões de uso do solo; (ii) desenho urbano; e (iii) sistemas de transporte. Os padrões de uso do solo referem-se à distribuição das atividades no espaço, incluindo a localização e densidade de diferentes atividades, tais como residencial, comercial e industrial. O desenho urbano está relacionado ao desenho da cidade e os elementos físicos dentro dela, incluindo tanto sua organização como sua aparência. Finalmente, os sistemas de transporte compreendem a infraestrutura física das vias, calçadas, ciclovias, vias férreas, pontes, etc., bem como o nível de serviço prestado, conforme determinado pelos níveis de tráfego, frequências de ônibus e similares (HANDY *et al.*, 2002).

Cervero *et al.* (2009) analisaram a influência de elementos do ambiente construído na realização de viagens a pé e de bicicleta. O estudo descreveu o ambiente construído através de cinco dimensões (5D): densidade, diversidade, desenho, acessibilidade aos destinos e distância ao transporte coletivo (do inglês *density, diversity, design, destination accessibility, e distance to transit*). Essa análise é uma expansão das 3D propostas inicialmente por Cervero e Kockelman (1997): densidade, diversidade e desenho (do inglês *density, diversity e design*).

No estudo conduzido por Cervero *et al.* (2009) na cidade de Bogotá, a *Densidade* foi analisada através de variáveis candidatas representando o número de residências na região, extensão de solo utilizada com prédios e número de andares nos edifícios. *Diversidade* consistiu em um índice de entropia representando proporção de uso misto do solo e de empreendimentos na região. As variáveis candidatas referentes a *Desenho* foram divididas em três classificações: amenidades, desenho viário e local e segurança. Nas amenidades, avaliou-se a oferta de espaços públicos, áreas de refúgio para pedestres em travessia, arborização e densidade de semáforos. No desenho viário e local, as variáveis candidatas indicavam tamanhos de quarteirões, proporção de interseções com variados números de aproximações, densidade de infraestrutura cicloviária e conectividade. Em segurança, observou-se presença de passarelas, dados anuais de acidentes de trânsito, velocidade média nas vias principais e números de criminalidade.

Acessibilidade aos destinos foi avaliada através de variáveis candidatas indicando presença de pontos de atração, como escolas, bancos, hospitais, bibliotecas e shoppings. Por fim, as variáveis referentes a *Distância ao transporte coletivo* indicavam presença de estações de acesso ao BRT TransMilenio, distância de acesso à estação do TransMilenio mais próxima e número de pontos de parada de linhas alimentadoras. O resultado do estudo indicou que, ao contrário de estudos realizados em países desenvolvidos, *Densidade e Diversidade* em relação ao uso do solo não foram significativos em Bogotá para deslocamentos a pé e por bicicleta, assim como *Acessibilidade aos destinos e Distância ao transporte coletivo*. Os autores atribuem esse resultado ao pressuposto de que essas variáveis já são presentes e uniformes em toda a cidade. Em relação a variáveis significativas para os deslocamentos a pé e por bicicleta, os autores identificaram o desenho viário, especificamente a densidade da malha viária, e a conectividade de rotas cicloviárias. Em um estudo realizado a partir de dados de Nova York, Estados Unidos, e Montreal, Canadá, Mohamed *et al.* (2013) identificaram aumento no risco de acidentes fatais em áreas com maior diversidade de uso do solo. Esse resultado não foi encontrado no estudo realizado em Bogotá por Cervero *et al.* (2009), possivelmente devido à maior proporção de bairros com uso misto do solo já existentes na cidade. Kashani, Rabieyan

Ewing e Dumbaugh (2009) descrevem maior segurança em áreas urbanas, que acumulam maior volume de tráfego, se comparado a áreas de menor densidade, como subúrbios, devido às velocidades empregadas em cada um desses ambientes. Os autores discutem também no mesmo estudo o insucesso de práticas convencionais de segurança ao assumir pressupostos de mudança no comportamento humano diante de alterações nos padrões de estrutura urbana, como redução de densidade e segregação de usos do solo:

Considerada amplamente, a principal fragilidade da teoria convencional de segurança viária é o seu insucesso para considerar o papel moderado do comportamento humano na ocorrência de acidentes. Decisões para reduzir as densidades de desenvolvimento e segregar usos do solo, ou para ampliar vias específicas para fazer com que elas "perdoem erros" dos condutores, são baseadas no pressuposto de que, ao fazer isso, o comportamento humano permanecerá inalterado. E é especificamente esse pressuposto - de que o comportamento humano pode ser tratado como constante, independentemente do desenho - que resulta nas falhas de práticas convencionais de segurança [...]. Se a segurança for abordada de forma significativa, devemos começar a desenvolver nosso entendimento de como o ambiente construído influencia a ocorrência de acidentes de trânsito, vítimas feridas e vítimas fatais, bem como os comportamentos específicos que levam a esses resultados (EWING; DUMBAUGH, 2009, p. 363, tradução nossa).

Em relação aos padrões de uso do solo, Ukkusuri *et al.* (2012) concluem que áreas com maior proporção de uso do solo de indústrias, comércio e áreas não construídas estão relacionadas a uma maior probabilidade de acidentes, em contraste com uma redução esperada de atropelamentos em áreas predominantemente residenciais. Em locais de maior atração de pedestres, com concentração de instituições de ensino e paradas de transporte coletivo, é esperado um aumento de acidentes.

3.3 ELEMENTOS SOCIOECONÔMICOS

Há registros na literatura do impacto em segurança específico para grupos com características socioeconômicas específicas. A faixa etária de vítimas ou residentes nas áreas de estudo demonstra ser uma característica importante no entendimento da acidentalidade. O envolvimento de crianças e idosos está relacionado a maior risco de atropelamentos e dos acidentes ocorridos resultarem em morte (ABAY, 2013; DUMBAUGH; LI; JOH, 2013; FUENTES; HERNANDEZ, 2013; MOHAMED *et al.*, 2013; POUR-ROUHOLAMIN; ZHOU, 2016). Estes usuários da via possuem maior fragilidade corporal, o que os torna mais suscetíveis a ferimentos graves ou fatais.

Muitos estudos acerca do tema foram desenvolvidos em países desenvolvidos. Abay (2013) analisou a severidade de acidentes com pedestres a partir de dados da Dinamarca;

Dumbaugh, Li e Joh (2013), Pour-Rouholamin e Zhou (2016) e Ukkusuri *et al.*(2012) avaliaram o impacto de elementos do ambiente construído na segurança de pedestres a partir de dados de cidades dos Estados Unidos; o estudo de acidentalidade de pedestres realizado por Mohamed *et al.* (2013) utilizou dados de cidades dos Estados Unidos e Canadá. No estudo de fatores de risco para pedestres, Fuentes e Hernandez (2013) utilizaram dados do México. As pesquisas a respeito dos impactos de acidentes de trânsito em vítimas de diferentes faixas etárias no contexto de países em desenvolvimento são limitadas, em parte devido à ausência de dados apropriados para a análise do problema (BARTLETT, 2002).

O estudo de acidentalidade de usuários vulneráveis no ambiente construído realizado por Dumbaugh, Li e Joh (2013) avaliou dados de acidentes envolvendo pedestres e ciclistas registrados ao longo de cinco anos na região metropolitana do Condado de San Antonio-Bexar. Com um total de 4.130 registros, os autores identificaram relação entre o envolvimento de jovens e idosos em acidentes e um maior número de atropelamentos totais. Similarmente, Fuentes e Hernandez (2013) afirmam que uma maior parcela de residentes idosos resultou em aumento na densidade de atropelamentos. O estudo foi realizado com dados registrados na Cidade do México ao longo de 18 meses entre 2008 e 2009. O banco de dados obtido era agregado em um total de 560 setores censitários. A agregação dos dados pode impor restrições à pesquisa, impedindo análises em nível de segmentos viários, conforme ressaltado pelos autores.

No estudo de Ukkusuri *et al.* (2012), a partir de dados em Nova York, a população de até 17 anos foi relacionada a um aumento na probabilidade de acidentes. Entretanto, os autores identificaram que o aumento da parcela de população acima de 65 anos em um setor censitário estava relacionada a uma redução na probabilidade de acidentes. Uma possível explicação para os autores é o fato de que esta faixa etária tende a praticar menos atividades físicas, o que reduz sua exposição ao risco.

O estudo de fatores de risco associados com a severidade de acidentes envolvendo pedestres realizado por Pour-Rouholamin e Zhou (2016) usou como base um total de 19.361 acidentes entre veículos e pedestres registrados entre 2010 e 2013 em Illinois. Os autores destacam ainda terem filtrado esses acidentes de forma a manter na análise apenas os atropelamentos que envolvessem um único pedestre e apenas o condutor no interior do veículo, sem passageiros. O motivo para isso, segundo os autores, seria eliminar os efeitos comportamentais do condutor ou do pedestre caso um destes estivesse acompanhado. Os resultados indicaram, a exemplo dos outros estudos, maior probabilidade de ferimentos leves em acidentes envolvendo crianças e jovens adultos.

Bartlett (2002) afirma que os impactos dos acidentes de trânsito em crianças são ainda mais graves nos países de baixa renda. Nesses locais, muitas vezes não são oferecidos programas formais efetivos de cuidado à infância e espaços públicos e de lazer adequados para garantir a segurança das crianças. A Organização Mundial da Saúde indica a predominância de mortes no trânsito em países em desenvolvimento, o que indica uma relação entre a renda média e a ocorrência de acidentes (WHO, 2011).

Em um estudo da segurança de pedestres e ciclistas no entorno de escolas, Mcarthur, Savolainen e Gates (2014) analisaram dados de acidentes registrados em Michigan, Estados Unidos, ao longo de cinco anos com vítimas entre 5 e 14 anos. Os resultados indicaram que o aumento na renda média familiar impactava em uma redução na frequência de acidentes. Os autores atribuem esse resultado a taxas mais altas de educação e, em locais com alta renda, uso mais frequente de veículos privados motorizados para o transporte de crianças para a escola. Ao analisar a relação entre o desenho viário e a ocorrência de acidentes a partir de dados de 24 cidades da Califórnia, Marshall e Garrick (2011) identificaram menor frequência de acidentes relacionada a aumento na renda média familiar.

Forbes e Habib (2015) realizaram estudo da relação entre ambiente construído e a severidade de acidentes envolvendo pedestres com base em dados de Nova Scotia, Canadá através de modelos ordenados. Os resultados do estudo indicaram maior risco de ferimentos graves em pedestres envolvidos em acidentes em bairros com renda média mais baixa. Segundo os autores, isso pode estar relacionado a maiores velocidades, maior criminalidade e ambientes menos convidativos a deslocamentos a pé nos bairros de baixa renda, o que podem resultar em comportamentos mais arriscados tanto de pedestres quanto de condutores.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo descreve os procedimentos adotados para o desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente, caracteriza-se o ambiente de estudo e suas delimitações. Em seguida, são apresentadas e descritas cada uma das etapas do método desenvolvido com base em Torres (2016).

Este estudo pode ser caracterizado como uma pesquisa de natureza aplicada. Quanto à forma de abordagem do problema, caracteriza-se, essencialmente, como pesquisa quantitativa, visto que adota a modelagem econométrica. Quanto aos seus objetivos, caracteriza-se como uma pesquisa explicativa, buscando identificar padrões e fatores contribuintes físicos e espaciais e avaliando o seu impacto na ocorrência de acidentes de trânsito no entorno de pontos de parada de ônibus. Os procedimentos técnicos adotados incluem Pesquisa Documental e Pesquisa *Expost-Facto*, uma vez que foi elaborada a partir de dados secundários disponibilizados por diferentes fontes acerca da acidentalidade e das características de desenho urbano da cidade e dos acidentes ocorridos nela.

O cenário de estudo é o entorno de paradas de corredores exclusivos de transporte por ônibus de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul. A cidade de Porto Alegre possui território de 496,8 m² e uma população estimada, em 2016, de 1.481.019 habitantes (IBGE, 2016). Estima-se que uma parcela de 36% dos deslocamentos diários realizados na cidade seja feita por transporte coletivo. Destes, 71% foram identificados com propósitos de trabalho ou estudo (PMPA, 2008).

Em 2016, a cidade contava com 120,9 km de vias exclusivas para ônibus (PMPA, 2016). As vias exclusivas para ônibus de Porto Alegre apresentam distintas características de infraestrutura. Parte dos corredores localizam-se nas faixas centrais da via, segregados do tráfego misto por canteiros ou tachões. Entretanto, há outras duas configurações viárias na rede de sistemas prioritários para ônibus em Porto Alegre: algumas vias possuem faixas exclusivas junto ao meio-fio segregadas das demais faixas de tráfego por sinalização horizontal ou tachões; e algumas faixas exclusivas são implementadas em situação de contrafluxo (em sentido oposto ao de todas as demais faixas da via).

Este estudo foi realizado a partir dos dados referentes a corredores segregados em faixas centrais, que representam um total de 46,9 km, equivalente a 38,8% do total de vias exclusivas de operação de transporte coletivo por ônibus na cidade. Ao longo dessa extensão, há 101 paradas. Não foram consideradas as extensões de infraestrutura em corredor central

implantadas após 2012, pois isso geraria uma inconsistência com o período de dados de acidentes obtidos (2012 a 2014) e dificultaria o entendimento adequado da infraestrutura na segurança do local.

A Figura 4 ilustra a distribuição dos corredores estudados dentro da cidade. Visualmente, é possível observar que tais corredores se distribuem por toda cidade, passando por regiões com diferentes padrões de carregamento viário, características socioeconômicas e de ambiente construído. A Tabela 1 detalha a extensão dos corredores analisados e as vias nas quais estão implantados.

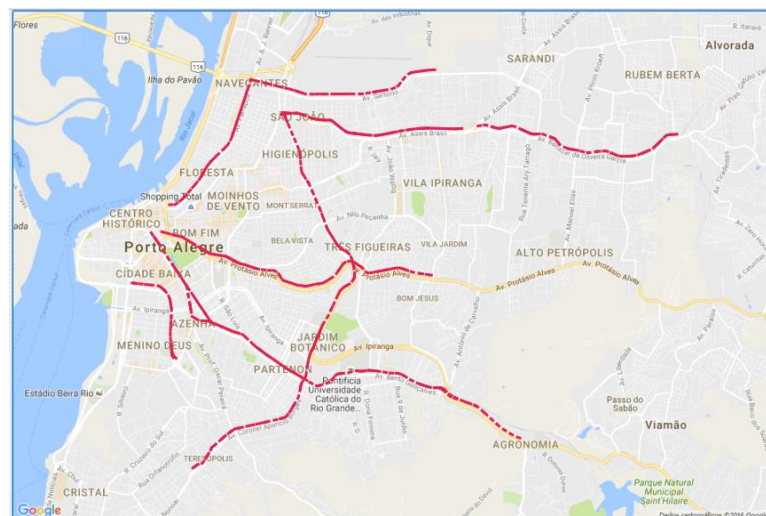


Figura 4: Corredores exclusivos para ônibus em faixas centrais em Porto Alegre

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 1: Corredores em faixas centrais em Porto Alegre

Corredor	Extensão (km)
Assis Brasil	4,42
Azenha	0,2
Baltazar de Oliveira Garcia	4,36
Bento Gonçalves	8,72
Erico Veríssimo	2,55
Farrapos	3,40
João Pessoa	2,52
Oswaldo Aranha/Protásio Alves	6,60
Sertório	4,16
Terceira Perimetral	9,45
Total	46,9

(fonte: elaborado pela autora)

Em Porto Alegre, o sistema de transporte coletivo é fiscalizado pela Prefeitura Municipal através da Empresa Pública de Transporte e Circulação (EPTC). Atualmente, o sistema ônibus é operado por quatro consórcios operacionais, compostos por 12 empresas privadas, e uma empresa pública – e a Cia. Carris, que trabalha separadamente dos consórcios, atendendo principalmente as linhas transversais. Os consórcios são divididos em áreas de atendimento: sul, norte e leste-sudeste da cidade (EPTC, 2016). A frota da cidade em 2016 incluía 1.715 ônibus, atendendo 25.101.925 passageiros por mês (PMPA, 2016).

Em relação às etapas realizadas no estudo, inicialmente, foi necessário organizar os dados de acidentes de trânsito e as variáveis utilizadas. Isso inclui compatibilizar formatos, coletar dados de variáveis relevantes ao estudo da acidentalidade, mas indisponíveis nas bases de dados secundários utilizadas e, se necessário, georreferenciar os dados disponíveis, mas sem informações geoespaciais para gerar as variáveis do modelo.

Após essa etapa, definiu-se a área de estudo através da criação de *buffers*. Para isso, foi necessário verificar critérios possíveis para a segmentação da área de estudo e avaliar a adequação destes. Foram selecionadas as variáveis a serem estudadas, através da verificação de disponibilidade dos dados e da relevância reportada na literatura. Através da observação dos métodos adotados em outras pesquisas revisadas, definiu-se os modelos mais pertinentes para a análise. Realizou-se análise de correlações das variáveis candidatas, visando verificar adequação da inclusão destas nos modelos estimados.

As variáveis remanescentes da análise de multicolinearidade foram então utilizadas para estimar os modelos de frequência e de severidade de acidentes de trânsito. Por fim, calculou-se os efeitos marginais desses resultados, ampliando assim as possibilidades de análises dos resultados. A Figura 5 apresenta as etapas do método.

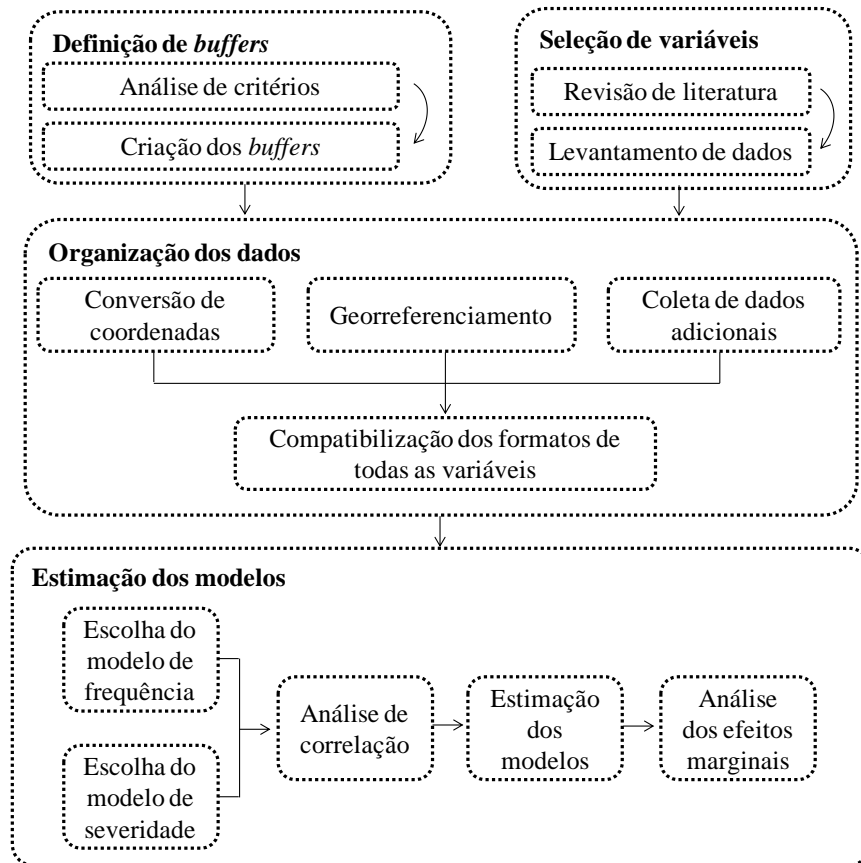


Figura 5: Fluxograma descrevendo etapas metodológicas da pesquisa

(fonte: elaborado pela autora)

4.1 DEFINIÇÃO DE *BUFFERS*

A investigação da prevalência de fatores associados a acidentes demanda que os dados sejam agrupados de forma coerente com as análises pretendidas. Portanto, essa etapa decorre da necessidade desse agrupamento de dados. A definição dos *buffers* consiste na definição de áreas de análise para as quais são consolidados os dados dos acidentes ocorridos e são levantadas as informações sobre as possíveis variáveis preditoras destes acidentes. Os *buffers* são áreas com um raio estabelecido ao redor do ponto de interesse, dentro das quais foram coletados os acidentes ocorridos e se buscou associar os dados das variáveis de interesse.

Com o intuito de definir essas áreas de análise ao longo dos 46,9 km de corredores analisados, foram avaliadas algumas possibilidades de critérios para formação dos *buffers*: (i) divisão linear dos corredores exclusivos de ônibus; (ii) divisão segundo as Zonas de Tráfego; (iii) divisão segundo o padrão de ocupação dos ônibus ao longo do corredor; (iv) divisão baseada em pesquisas Sobe-Desce; (v) divisão segundo os Setores Censitários; e (vi) divisão segundo os Bairros. A segmentação deveria considerar semelhanças de trechos adjacentes, proporcionando um agrupamento consistente de extensões.

4.2 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS

As variáveis utilizadas nesse estudo estão relacionadas aos elementos indicados na literatura como relevantes à segurança viária e à disponibilidade de dados. A identificação das variáveis a serem incluídas no estudo iniciou em uma revisão de literatura. A análise de estudos prévios possibilitou compreender as relações que as variáveis de forma urbana e de desenho viário têm com a ocorrência de acidentes. Estudos sobre esse tema têm avançado na academia. Foi possível também identificar aquelas variáveis cujo impacto em segurança ainda segue como uma lacuna na literatura.

Em seguida, foram avaliados os dados disponíveis e aqueles com coleta de dados viável dentro da proposta de tempo e área de abrangência da pesquisa. Uma vez definidos os *buffers*, foi possível coletar as informações referentes às variáveis selecionadas dentro dessas áreas de análise, caracterizando cada um dos *buffers* em relação a essas variáveis. Cada uma das variáveis selecionadas para inclusão no modelo foi atribuída a um *buffer*. Uma mesma variável pode ter valores semelhantes em mais de um *buffer*; entretanto, cada *buffer* tem apenas um valor referente a cada variável.

4.3 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Para o desenvolvimento deste estudo, foram utilizados dados georreferenciados de acidentes de trânsito registrados entre 2012 e 2014 em Porto Alegre e de elementos de estrutura urbana e socioeconômicos através do *software Quantum GIS (QGIS)*, nas versões 2.14 e 2.16 (QGIS, 2017). A variação da versão utilizada está relacionada à disponibilidade de ferramentas específicas, que foram acrescentadas ou removidas na versão mais recente do programa. A manipulação dos dados foi apoiada também pelo uso do *software Microsoft Excel*.

Os dados utilizados para a pesquisa possuíam diferentes formatos, sendo, quando necessário, convertidos em arquivos georreferenciáveis de forma a compatibilizar todos os dados e possibilitar, através de ferramentas de análises espaciais, consolidar os dados e relacioná-los às áreas de estudo. Estes dados compatibilizados dão origem às variáveis utilizadas para o desenvolvimento do estudo.

Os dados utilizados na pesquisa foram obtidos ou convertidos especificamente para dois formatos: *.csv* e *.shp (shapefile)*. O *csv* é um arquivo separado por vírgulas, que pode ser editado através dos *softwares Microsoft Excel* e Bloco de Notas. Esses arquivos contêm

bancos de dados e podem ser combinados entre si, caso os arquivos possuam um campo em comum, e podem gerar dados georreferenciados caso disponham de coordenadas geográficas entre seus campos. Os arquivos *shapefile* são arquivos de dados georreferenciados, que possibilitam análises espaciais, e foram trabalhados no *software* QGIS, possibilitando análises espaciais. Alguns *shapefiles* foram obtidos das fontes originais, enquanto outros foram gerados a partir da combinação de arquivos csv.

4.4 MODELO DE FREQUÊNCIA DE ACIDENTES

Neste item, apresenta-se os procedimentos realizados para a estimação do modelo de frequência de acidentes. Para isso, aplicou-se o modelo de regressão Binomial Negativo.

4.4.1 Análise de multicolinearidade do modelo de frequência de acidentes

Após a seleção das variáveis candidatas ao modelo, foi necessário verificar a existência de multicolinearidade. Multicolinearidade é uma condição que ocorre quando algumas variáveis preditoras no modelo estão correlacionadas a outras variáveis preditoras. A multicolinearidade forte é problemática porque pode aumentar a variância dos coeficientes de regressão, tornando-os instáveis, afetando os coeficientes estimados e prejudicando as conclusões do estudo (HAIR *et al.*, 2009).

A presença de multicolinearidade foi examinada a partir dos fatores de inflação da variância (VIF- *Variance Inflation Factor*). Os VIFs medem quanto a variância de um coeficiente estimado aumenta se seus preditores estão correlacionados. Valores de VIFs iguais a 1 indicam a não existência de multicolinearidade, valores entre 5 e 10 sugerem a presença de multicolinearidade, sendo que valores superiores a 10 indicam multicolinearidade elevada (HAIR *et al.*, 2009).

Inicialmente, atribuiu-se aos *buffers* dados referentes a cada variável analisada, consolidando a base de dados dos *buffers* como unidade de agregação. Para cada um dos *buffers* da área de estudo, atribuiu-se as características referentes a aquele local oriundas das variáveis selecionadas. Esse arquivo consolidado foi utilizado para realizar a análise de multicolinearidade, através da aplicação da ferramenta de regressão linear do *software* IBM SPSS Statistics 19 (IBM, 2010). Quando o VIF de uma variável analisada foi maior que 10, a variável foi eliminada de forma a remover a colinearidade. O processo foi repetido para todas aquelas que apresentaram valores superiores a 10.

4.4.2 Estimação do modelo de frequência de acidentes

A frequência de acidentes foi modelada utilizando modelos lineares generalizados, os quais são uma extensão dos modelos lineares tradicionais (NELDER; WEDDERBURN, 1972). A ligação entre a variável resposta e as explicativas não é necessariamente linear, podendo assumir qualquer forma monótona não-linear. As distribuições probabilísticas mais utilizadas para modelar dados de contagem (frequências) são a distribuição de Poisson e Binomial Negativa.

A escolha entre qual distribuição utilizar depende da média e da variância da amostra. O modelo de Poisson é escolhido quando há independência entre as observações e a variância e a média da amostra são iguais. O modelo Binomial Negativo é utilizado quando as amostras apresentam sobredispersão (variância maior do que a média) (LORD, 2006). Dados de acidentes apresentam geralmente sobredispersão, assim, estudos de segurança viária utilizam usualmente o modelo Binomial Negativo (MANNERING; BHAT, 2014; LORD; MANNERING, 2010). Neste estudo, foi verificada a sobredispersão dos dados, utilizando modelo Binomial Negativo nas estimações.

O modelo de regressão Binomial Negativo é bastante semelhante ao modelo de Poisson. A principal diferença está na adição de um parâmetro de modelagem da sobredispersão. Sendo assim, a ocorrência de acidentes n_{ij} para um segmento de análise i durante um período j é representado pela equação (1) (LEE; MANNERING, 2002):

$$P(n_{ij}) = \frac{\exp(-\lambda_{ij}) \lambda_{ij}^{n_{ij}}}{n_{ij}!} \quad (1)$$

Onde:

$P(n_{ij})$ = probabilidade de ocorrência de n acidentes em um segmento viário i em um período de tempo j ;

λ_{ij} = valor previsto de n_{ij} , que representa o número esperado de acidentes por ano em um determinado segmento viário.

Por sua vez, λ_{ij} é determinado no modelo Binomial Negativo conforme equação (2) (WASHINGTON; KARLAFTIS; MANNERING, 2003):

$$\lambda_{ij} = EXP(\beta X_{ij} + \varepsilon_{ij}) \quad (2)$$

Onde:

β = vetor de coeficientes de regressão desconhecidos, que podem ser estimados por métodos de máxima verossimilhança padrão (GREENE, 2010);

X_{ij} = vetor de variáveis que descrevem a área de estudo;

$EXP(\varepsilon_{ij})$ = termo de erro de distribuição Gamma com média 1 e variância α^2 .

Dessa forma, a distribuição Binomial Negativa é representada através da equação (3) (WASHINGTON; KARLAFTIS; MANNERING, 2003):

$$P(n_{ij}) = \frac{\Gamma\left(\left(\frac{1}{\alpha}\right) + n_{ij}\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)n_{ij}!} \left(\frac{1/\alpha}{(1/\alpha) + \lambda_{ij}}\right)^{1/\alpha} \left(\frac{\lambda_{ij}}{(1/\alpha) + \lambda_{ij}}\right)^{n_{ij}} \quad (3)$$

Onde:

$P(n_{ij})$ = probabilidade de ocorrência de n acidentes em um segmento viário i em um período de tempo j ;

Γ = função Gama;

α = variância;

λ_{ij} = valor previsto de n_{ij} , que representa o número esperado de acidentes por ano em um determinado segmento viário.

Após a consolidação da lista de variáveis referentes a cada um dos *buffers* e eliminadas as variáveis que apresentavam elevada multicolinearidade, foram estimados modelos Binomial Negativo para a frequência de acidentes. Os modelos foram estimados utilizando o *software IBM SPSS Statistics 19* (IBM, 2010). O número total de acidentes registrados em cada *buffer* foi inserido como variável dependente no modelo. As variáveis resultantes da análise de multicolinearidade foram inseridas como covariáveis.

A estimação do modelo foi realizada, inicialmente, incluindo-se todas as variáveis listadas. Como resultado da estimação do modelo, obteve-se uma tabela indicando a significância relatada para cada uma das variáveis. O ajuste do modelo consistiu em, na etapa seguinte, alterar a lista de covariáveis analisadas. A remoção de cada variável resulta em alterações nos valores de significância das demais variáveis. Portanto, após a remoção de cada variável, estimava-se novamente o modelo e verificava-se novamente as significâncias das variáveis analisadas.

Adotou-se para o propósito do estudo a técnica de *backwards elimination*. Essa técnica indica a remoção da variável com valor p mais próximo de 1, com base em sua menor chance de apresentar significância em uma estimação seguinte do modelo. Após a eliminação da variável com a menor significância, o modelo era estimado novamente com as demais

variáveis. O processo era repetido até que todas as variáveis da lista apresentassem significância em um nível de confiança de 95%. Em alguns casos, aceitava-se na lista variáveis com valor p de valor acima desse limite, considerando a relevância das variáveis e o desempenho das demais na análise.

4.4.3 Cálculo dos efeitos marginais do modelo de frequência de acidentes

O modelo Binomial Negativo possibilitou identificar os coeficientes relacionados a cada uma das variáveis obtidas como significativas para explicar a frequência de acidentes. Entretanto, as variáveis presentes podem possuir grandezas muito distintas, o que prejudica a compreensão sobre seu real significado ou comparações sobre os impactos que essas variáveis causam na frequência de acidentes.

Com o objetivo de obter uma ordem de grandeza padronizada e que possibilite uma análise mais qualificada dos resultados, foi realizado o cálculo de efeitos marginais das variáveis obtidas como significativas. Os efeitos marginais representam a variação que determinado incremento causaria nos impactos das variáveis identificadas como significativas. O efeito marginal das variáveis significativas no modelo de frequência de acidentes foi calculado através da equação (4) (MOTHAFER; YAMAMOTO; SHANKAR, 2016).

$$\partial E(y|x_{ij})/\partial x = \beta_{ij}[\exp(x_{ij}\beta_j)] \quad (4)$$

Onde:

x_{ij} = variável explicativa;

y = variável dependente;

β = vetor de coeficientes de regressão.

Às variáveis discretas, atribuiu-se um incremento de uma unidade no cálculo dos efeitos marginais. O incremento das variáveis contínuas foi estabelecido como 10% da média de todos os valores existentes de cada uma. As variáveis *dummy* tiveram seu efeito marginal calculado através do incremento causado pela variação entre os valores 0 e 1.

4.5 MODELO DE SEVERIDADE DE ACIDENTES

Nos itens a seguir, são descritos os procedimentos adotados para a estimação do modelo de severidade (o quão severo o acidente resultou). Para isso, foram estimados dois modelos: *Logit* Ordenado e *Logit* Multinomial. Diferentemente da consolidação das variáveis

usadas na estimação do modelo de frequência de acidentes, o banco de dados para realizar a estimação de modelos de severidade de acidentes foi organizado usando como unidade de agregação os acidentes registrados. Dessa forma, a cada acidente dentro de um determinado *buffer* foram associados os dados referentes a todas as variáveis que foram computadas nessa determinada área de análise.

Pelo fato da unidade de agregação dos dados da modelagem da severidade ser cada um dos acidentes registrados, é possível ter variáveis referentes ao acidente em si. Isso não é possível na base de dados agregada por *buffer*, onde apenas a quantidade de acidentes nessa área de análise pode ser obtida e utilizada como uma variável. Entre as variáveis específicas do acidente está a variável de severidade, denominada "Iseveridade". Foi adotada uma escala de severidade a partir dos dados registrados no banco de acidentes. Aos acidentes que resultaram em pelo menos uma vítima fatal, atribuíu-se o valor 3. Os acidentes com pelo menos uma vítima ferida recebiam o valor 2. Os registros de acidentes sem vítimas fatais ou feridas, apenas com danos materiais, receberam o valor 1.

4.5.1 Análise de multicolinearidade do modelo de severidade de acidentes

De forma similar ao modelo de frequência de acidentes, em uma etapa anterior à estimação do modelo de severidade de acidentes foi necessário verificar a existência de multicolinearidade entre as variáveis selecionadas.

A análise de multicolinearidade do modelo de severidade de acidentes foi realizada a partir do arquivo gerado com as variáveis agregadas por acidente de trânsito e a informação de escala de severidade. A variável "Iseveridade" foi utilizada como variável dependente, enquanto as demais foram utilizadas como variáveis independentes. O procedimento de análise de colinearidade foi similar ao relatado no item 4.3, através do *IBM SPSS Statistics 19* (IBM, 2010).

4.5.2 Estimação do modelo de severidade de acidentes

A estimação do modelo de severidade de acidentes teve por objetivo identificar a influência das variáveis selecionadas em cada nível de severidade: acidente fatal, acidente com vítimas feridas e acidentes apenas com danos materiais. O modelo foi estimado através do *software Biogeme* (BIERLAIRE, 2003). O campo referente ao nível de severidade foi inserido no *Biogeme* como fator de escolha e as variáveis remanescentes do processo de

análise de correlação foram incluídas como parâmetros. Foram estimados dois modelos de severidade dos acidentes: o modelo *Logit* Ordenado (OL) e o modelo *Logit* Multinomial (MNL).

Ambos constituem modelos de escolha discreta, nos quais apenas uma alternativa é selecionada. Esses modelos são fundamentados a partir da teoria de utilidade aleatória. Ortúzar e Willumsen (2011) indicam que, nos modelos de escolha discreta, a probabilidade de escolha de determinada opção é função das características socioeconômicas do indivíduo e da atratividade relativa da opção. A utilidade consiste nessa atratividade, e é composta por atributos observáveis da alternativa. A escolha de uma alternativa é feita através da maximização da função de utilidade. A função de utilidade é definida pela equação (5) (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011):

$$U_{iq} = V_{iq} + \varepsilon_{iq} \quad (5)$$

Onde:

U_{iq} = utilidade da alternativa i para o indivíduo q ;

V_{iq} = vetor função dos atributos observáveis da alternativa i e do indivíduo q ;

ε_{iq} = componente aleatória representando atributos não observáveis.

O vetor de atributos, por sua vez, é representado através da equação (6) (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011):

$$V_{jq} = \sum_{k=1}^k \theta_{kj} X_{jkq} \quad (6)$$

Onde:

X_{jkq} = atributos observáveis;

θ_{kj} = parâmetros estimados das alternativas.

Assim, a probabilidade de escolha de uma determinada alternativa é representada através da equação (7) (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011):

$$P_{jq} = \int_{R_N} f(\varepsilon) d(\varepsilon) \quad (7)$$

Onde:

$$R_N = \begin{cases} \varepsilon_{iq} \leq \varepsilon_{jq} + (V_{jq} - V_{iq}), \forall A_i \in A(q) \\ V_{jq} + \varepsilon_{jq} \geq 0 \end{cases}$$

V_{jq} = função de atributos mensuráveis;

A_i = alternativa selecionada entre as disponíveis;

ε_{jq} = parcela aleatória relacionada ao gosto individual e a erros de modelagem;

4.5.2.1 Modelo *Logit* Ordenado (OL)

Os modelos ordenados partem do pressuposto de que os valores de uma determinada variável podem ser classificados em um conjunto de categorias ordenadas. O modelo se baseia em uma regressão de variáveis não observáveis y_{jq}^* , conforme indicado na Equação 8 (GREENE; HENSHER, 2009). A variável observável y_{jq} representa a severidade j na observação q . Os parâmetros θ são estimados através da máxima verossimilhança, ou seja, através de um vetor que maximize a função.

$$y_{jq}^* = \theta x_q + \varepsilon_{jq} \quad (8)$$

Onde:

x = vetor de atributos observáveis que determinam a ordem discreta de cada evento;

θ = vetor de parâmetros estimados.

ε = termo de erro que, no modelo *Logit* Ordenado, segue uma distribuição logística.

Através do modelo *Logit* Ordenado, estimou-se aqui a probabilidade de que um acidente resulte em determinado nível de severidade. O modelo proposto nesse estudo considerou três classificações de severidade: nível de severidade 1 (danos materiais), nível de severidade 2 (vítimas feridas) e nível de severidade 3 (vítimas fatais), separadas por dois limites, τ_1 e τ_2 . A relação entre a variável observável de severidade y_{jq} e y_{jq}^* é representada através de:

$$y_{jq} = \left\{ \begin{array}{l} 1. Sev 1 \text{ se } -\infty < y_{jq}^* \leq \tau_1 \\ 2. Sev 2 \text{ se } \tau_1 < y_{jq}^* \leq \tau_2 \\ 3. Sev 3 \text{ se } \tau_2 < y_{jq}^* \leq \infty \end{array} \right\}$$

Nesse estudo, τ_1 e τ_2 são parâmetros que recebem valores iniciais e são estimados a cada mudança de variáveis da modelagem. Os valores finais representam os pontos da curva de distribuição das probabilidades nos quais as três categorias de severidade analisadas são limitadas. A probabilidade de um acidente pertencer a determinado nível de severidade é representada pela área do gráfico abaixo da curva de distribuição, delimitada pelos limites da

curva – à esquerda e à direita – e pelos limites τ_1 e τ_2 . A Figura 6 representa τ_1 e τ_2 na curva de probabilidades dos modelos ordenados.

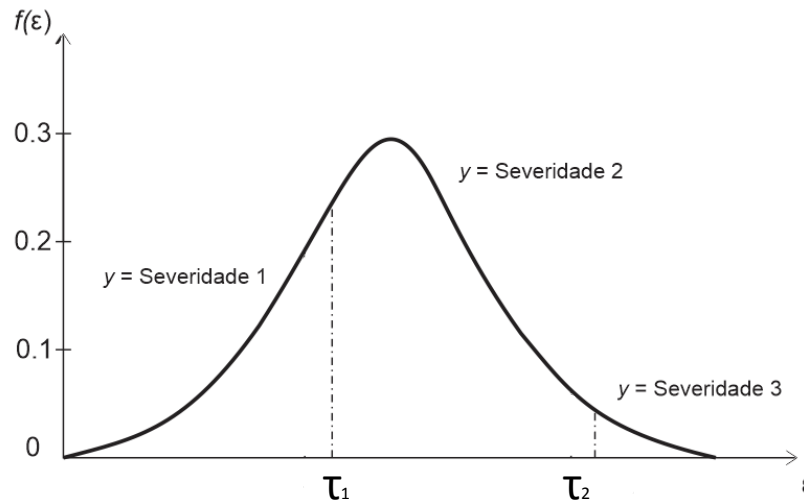


Figura 6: τ_1 e τ_2 indicam limites entre probabilidades de cada categoria

(fonte: adaptado de Washington, Karlaftis e Mannering (2003))

Seja F a função de distribuição acumulada, a probabilidade de observar a variável y_{jq} em uma alternativa c é definida como (GREENE; HENSHER, 2009):

$$Pr\{y_{jq} = c | y_{jq}^*\} = F(\tau_c - \theta x_q) - F(\tau_{(c-1)} - \theta x_q) \quad (9)$$

Onde:

y_{jq}^* = variáveis não observáveis;

τ_c = limite entre alternativas;

x = vetor de atributos observáveis que determinam a ordem discreta de cada evento;

θ = vetor de parâmetros estimados.

Na prática, o nível de severidades dos acidentes é intuitivamente ordenado, com uma evolução esperada de um nível para outro (ABAY, 2013; KAPLAN; PRATO, 2012). Os modelos ordenados, portanto, se mostram adequados para representar a severidade de acidentes. Abay (2013) afirma como crucial a consideração da natureza ordenada da severidade dos acidentes na estimação de modelos.

Como desvantagens, os modelos OL podem apresentar limitações em relação a dados subreportados. Além disso, os modelos OL são menos flexíveis em termos de variação dos limites entre categorias. Essa situação é exemplificada por Washington, Karlaftis e Mannering (2003) na situação em que se avaliava o impacto em severidade do uso de *airbags* através de um modelo ordenado. Nesse caso, a probabilidade de o acidente resultar em vítimas fatais

aumentaria enquanto a probabilidade de resultar apenas em danos materiais diminuiria ou vice-versa. Os *airbags* podem contribuir para a redução da probabilidade de morte, mas seu impacto na vítima ao abrir aumenta a probabilidade de ferimentos, e esses resultados não são representados com sucesso nos modelos ordenados. Os modelos não ordenados, por sua vez, poderiam resultar em redução nas probabilidades de morte e danos materiais, e um aumento na probabilidade de ferimentos, por sua maior flexibilidade em controlar as probabilidades internas entre categorias (ABAY, 2013; WASHINGTON; KARLAFTIS; MANNERING, 2003)

Há maior sensibilidade em relação a amostras pequenas e observações sem ocorrências. Uma das premissas dos modelos OL aponta que os efeitos das variáveis explicativas não variam entre observações. Isso significa que o efeito dessas variáveis será o mesmo em todas as observações modeladas (por exemplo, segmentos viários), ainda que existam variáveis não observadas que influenciem efeitos distintos para diferentes observações. Conforme indica (LORD; MANNERING, 2010, p. 11, tradução nossa):

A modelagem estatística tradicional não permite que as estimativas de parâmetros variem entre diferentes observações. Isso implica no fato de que o efeito da variável explicativa na frequência de acidentes é restringido a ser o mesmo para todas as observações (por exemplo, o efeito de uma variável de exposição, como o número de milhas viajadas por veículo (VMT) ao longo do período de tempo considerado é o mesmo em todos os segmentos viários). Entretanto, devido às variações não-observáveis entre um segmento viário e outro (heterogeneidade não-observada), espera-se que as estimativas de parâmetros de algumas variáveis explicativas sejam diferentes entre segmentos viários distintos. Se alguns parâmetros variam entre observações e o modelo for estimado com parâmetros fixos, as estimativas de parâmetros resultantes terão tendência e o modelo pode resultar em possíveis inferências equivocadas.

Assim, a modelagem de níveis de severidade tipicamente considera limites e efeitos fixos, ainda que elementos não observados possam alterar os impactos das variáveis (ABAY, 2013). O cálculo do modelo foi realizado através da inserção de valores iniciais aleatórios para as variáveis e para os limites das faixas de severidade (τ_1 e τ_2), que seriam posteriormente ajustados conforme a estimação do modelo. Após a estimação, observava-se o valor p obtido para cada uma das variáveis. Esse valor indica a significância da variável.

O mesmo procedimento de ajuste adotado na estimação dos modelos de frequência de acidentes foi realizado. A variável com o maior valor p era eliminada do modelo a cada rodada, através da aplicação da técnica *backwards elimination*. O modelo era estimado novamente, e o processo se repetia até que todas as variáveis remanescentes apresentassem significância em um nível de confiança aceitável. O objetivo era identificar variáveis significativas em um nível de confiança de 95%. Entretanto, considerando a relevância de determinadas variáveis, valores p superiores eram aceitos em situações especiais.

4.5.2.2 Modelo *Logit* Multinomial (MNL)

O modelo *Logit* Multinomial (MNL) é, segundo Domesich e Mcfadden (1975), o modelo discreto mais simples e mais prático. Baseia-se no pressuposto de distribuição Weibull, que tem como importantes características a maximização limitada e a distribuição logística de variáveis independentes e identicamente distribuídas (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011). Dessa forma, a probabilidade das escolhas pelo modelo MNL é representado por (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011):

$$P_{jq} = \frac{\exp(\beta V_{jq})}{\sum_{A_i \in A_q} \exp(\beta V_{iq})} \quad (10)$$

Onde:

V_{jq} = função de atributos mensuráveis;

A_i = alternativa selecionada entre as disponíveis;

β = vetor de coeficientes.

A estimação do modelo MNL é feita através do uso de uma das alternativas como referência, com seu parâmetro fixado em zero, e os demais valores estimados em relação a essa alternativa de referência (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011). O modelo segue ainda o princípio de independência de alternativas irrelevantes (do inglês *independence of irrelevant alternatives - IIA*). Sob esse princípio, a razão entre quaisquer duas probabilidades de alternativas que sejam diferentes de zero não é afetada por alternativas adicionais existentes (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011). Assim como nos modelos ordenados, os parâmetros são estimados através de máxima verossimilhança.

O modelo *Logit* Multinomial minimiza algumas das limitações descritas pela literatura nos modelos ordenados (ABAY, 2013; CHEN *et al.*, 2015; MANNERING; BHAT, 2014). Os modelos OL possibilitam menor flexibilidade dos limites inferior e superior, que não variam simultaneamente de forma desvinculada (MANNERING; BHAT, 2014; RIFAAT; TAY; DE BARROS, 2011). Como resultado dessa limitação, não é possível identificar, por exemplo, uma mesma variável que altere a probabilidade de uma severidade de níveis 1 e 3 de forma independente uma da outra. O modelo MNL traz maior flexibilidade nesse sentido e permite análises mais robustas das extremidades da distribuição de acidentes entre faixas de severidade.

De forma semelhante ao realizado na estimação do modelo *Logit* ordenado, o *Biogeme* recebia como arquivos de entrada a forma funcional do modelo, em um formato de texto; e a tabela de variáveis agregadas por acidente, em formato de planilha Excel. A forma funcional do modelo consta de funções de utilidade pré-definidas para cada nível de severidade.

O nível de severidade 1 (acidentes apenas com danos materiais) foi usado como base. A ele foi atribuída uma função de utilidade nula, que, no lugar de coeficientes e variáveis, era composta apenas de um comando nulo. Os níveis de severidade 2 e 3 foram, portanto, estimados tendo como valor de referência o nível de severidade 1.

Após a estimação do modelo, os valores p da lista completa de coeficientes estimados para as funções de utilidade dos níveis de severidade 2 e 3 foram analisados. Através da técnica de *backwards elimination*, os coeficientes com menor significância eram removidos da lista. O processo foi repetido até que todos os coeficientes apresentassem valor p significativo em um nível de confiança de 95%. Em alguns casos, foram aceitos valores p acima desse valor, quando se entendia que a variável era importante para as discussões de severidade.

4.5.3 Cálculo dos efeitos marginais do modelo de severidade de acidentes

Após a aplicação dos modelos *Logit* Ordenado e Multinomial, calculou-se o efeito marginal das variáveis presentes em cada um dos modelos. Os efeitos marginais das variáveis foram calculados para identificar a variação na probabilidade de ocorrência de cada uma das categorias de severidade modeladas decorrente do incremento em cada variável analisada (GREENE, 2012).

Assim como as probabilidades dos três níveis de severidade, os efeitos marginais de uma variável devem necessariamente somar 1 (100%); ou seja, um aumento na probabilidade em um nível de severidade resulta em diminuição nas probabilidades das demais (HENSHER; ROSE; GREENE, 2005). As probabilidades de cada um dos níveis de severidade são representadas pela área do gráfico de distribuição das probabilidades. Essa área equivale à integral da função de distribuição de probabilidades

Para o cálculo dos efeitos marginais das variáveis significativas no modelo *Logit* Ordenado, inicialmente calcula-se os valores Função Cumulativa de Probabilidade em cada um dos limites dos níveis de severidade através da equação (11) (GREENE; HENSHER, 2009):

$$L_{n|x} = \frac{e^{\tau n - \beta x}}{1 + e^{\tau n - \beta x}} \quad (11)$$

Onde:

τ = limite entre faixas de valores na distribuição de severidades;

β = coeficiente (valor da utilidade) relacionado à observação;

x = observação da variável.

A probabilidade em cada um dos níveis de severidade é calculada através da diferença entre o valor da Função Cumulativa de Probabilidades em cada um dos níveis. A probabilidade de uma observação estar na faixa de determinado nível de severidade é, portanto definida por:

$$P_{n|x} = L_{n|x} - L_{(n-1)|x} \quad (12)$$

O efeito de uma variável foi calculado através das diferenças de distribuição de probabilidades dos níveis de severidade antes e após o incremento no valor desta variável. Considerando pequenos incrementos nas variáveis, o cálculo dos efeitos marginais é definido como a derivada da Função Cumulativa de Probabilidades em um determinado ponto da curva, conforme apresentado na Figura 7.

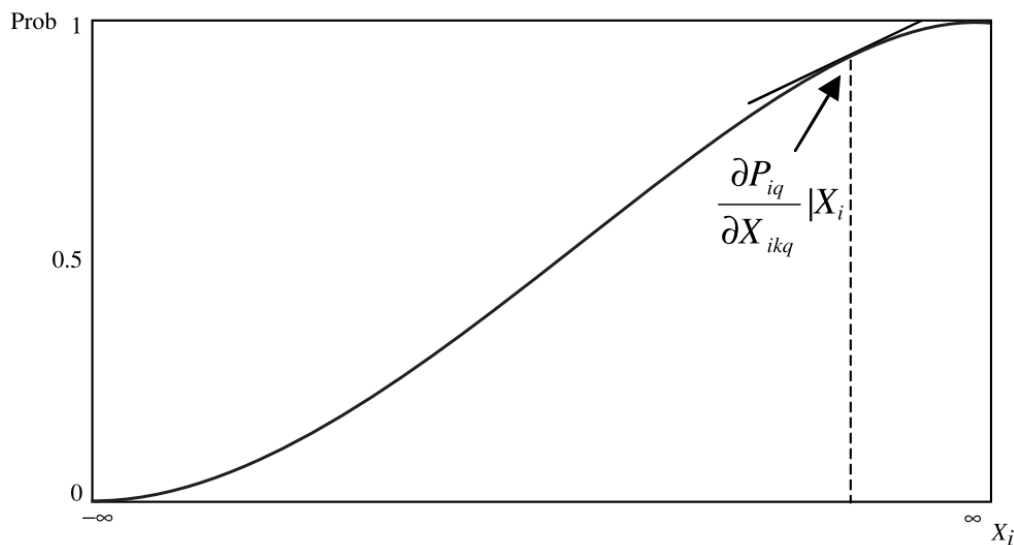


Figura 7: Derivada da função cumulativa de probabilidades

(fonte: adaptado de Hensher, Rose e Greene (2005))

Dada a baixa magnitude dos incrementos, a derivada dessa função é definida como a diferença de probabilidade em cada um dos níveis de severidade, antes e após o acréscimo na variável de análise. O efeito marginal foi então calculado através de:

$$Ef_{n|x} = \frac{P_{n|(x+a)} - P_{n|x}}{a} \quad (13)$$

Onde:

$Ef_{n|x}$ = efeito marginal de severidade n causado pela variável x ;

a = incremento aplicado à variável;

$P_{n|(x+a)}$ = probabilidade da faixa de severidade n , com o incremento de a na variável x

$P_{n|(x)}$ = probabilidade da faixa de severidade n , sem incremento na variável x .

Para o modelo Multinomial, o cálculo é simplificado pela eliminação da etapa de cálculo dos limites fixos para as faixas de severidade. As probabilidades são calculadas através de (ORTUZAR; WILLUMSEN, 2010):

$$P_n = \frac{e^{\beta x_n}}{e^{\beta x_n} + e^{\beta x_{n+1}} + e^{\beta x_{n+2}}} \quad (14)$$

Onde:

β = coeficiente;

x_n = variável;

O mesmo processo é repetido para os três níveis de severidade e então os efeitos marginais são calculados conforme a Equação 13.

Por fim, calculou-se o efeito marginal médio para cada nível de severidade para modelo *Logit* Ordenado e para o modelo Multinomial. Esse processo foi repetido para cada uma das variáveis identificadas como significativas após a estimação dos modelos.

4.6 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELOS DE SEVERIDADE

Após a estimação dos modelos de severidade *Logit* Ordenado e Multinomial, é importante avaliar a qualidade dos dois modelos. Essa avaliação envolve compreender como cada um dos modelos se adequou aos dados analisados. Mannering e Bhat (2014) indicam que a escolha entre modelos ordenados e não-ordenados exige muitas vezes uma decisão entre levar em consideração a natureza ordenada dos dados e restringir o impacto das variáveis explicativas nos resultados das probabilidades.

A análise comparativa entre os modelos *Logit* Ordenado e Multinomial tem como propósito identificar em qual dos modelos houve melhor ajuste aos dados analisados e, portanto, resultados mais consistentes. Entretanto, apesar dos esforços reportados na literatura de avaliar diferenças entre modelos, ainda não há evidências sobre parâmetros de

comparações satisfatórias (MANNERING; BHAT, 2014). O Quadro 1 descreve alguns dos critérios recentemente utilizados na literatura para comparação entre modelos.

Nesse estudo, optou-se por aplicar os critérios AIC (Akaike Information Criterion) e BIC (Bayesian Information Criterion, ou Schwarz Bayesian Criterion) para a análise dos ajustes dos modelos estimados (AKAIKE, 1974; SCHWARZ, 1978). Ambos se baseiam no princípio de parcimônia: uma maior simplicidade no modelo, com menos pressupostos, e maior precisão nos parâmetros restantes (ORTÚZAR; WILLUMSEN, 2011). Os menores valores de cada modelo indicam o menor ajuste.

$$AIC = -2(LLTotal) + 2k \quad (15)$$

$$BIC = -2 (LLTotal) + \ln(N) k \quad (16)$$

Onde:

$LLTotal$ = log-likelihood do modelo completo com variáveis significativas;

k = número de parâmetros estimados;

N = número de observações.

Quadro 1: Métodos de avaliação de adequação de modelos (*goodness of fit*)

Critério	Uso recente na literatura
AIC	Abay (2013), Dong <i>et al.</i> (2015), Ferreira e Couto (2013), Greene e Hensher (2009), Ladrón de Guevara, Washington e Oh (2004), Mohamed <i>et al.</i> (2013), Pour-Rouholamin e Zhou (2016), Torres (2016), Verzosa e Miles (2016), Yasmin, Eluru e Ukkusuri (2014)
BIC	Dong <i>et al.</i> (2015), Greene e Hensher (2009), Mohamed <i>et al.</i> (2013), Pour-Rouholamin e Zhou (2016), Yasmin, Eluru e Ukkusuri (2014)
CAIC	Mohamed <i>et al.</i> (2013)
McFadden	Abay (2013), Diogenes e Lindau (2011), Ferreira e Couto (2013), Greene e Hensher (2009)
Elvik index	Elvik <i>et al.</i> (2013), Ferreira e Couto (2013), Jensen e Buch (2015)
MAD	Cunto, Nodari e Barbosa (2014), Ferreira e Couto (2013), Garber, Rivera e Lim (2011), Vangala, Lord e Geedipally (2015)
MSPE	Ferreira e Couto (2013), Garber, Rivera e Lim (2011), Vangala, Lord e Geedipally (2015)
CURE	Cunto, Nodari e Barbosa (2014), Ferreira e Couto (2013), Vangala, Lord e Geedipally (2015)

(fonte: elaborado pela autora)

5 RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos a partir das etapas metodológicas anteriormente descritas.

5.1 RESULTADO DA DEFINIÇÃO DE *BUFFERS*

Com o intuito de investigar a associação entre variáveis do entorno das paradas de ônibus com os acidentes ocorridos nesse entorno fez-se necessário criar áreas de análise (*buffers*). Nessa etapa do estudo, foram analisados possíveis critérios para a definição dos *buffers*. Essas áreas de análise devem ser definidas de forma a permitir análises consistentes das relações entre as variáveis pesquisadas.

Foram discutidas diferentes forma de constituição dos *buffers*, entre elas destacam-se: (i) divisão linear dos corredores exclusivos de ônibus; (ii) divisão segundo as zonas de tráfego; (iii) divisão segundo o padrão de ocupação dos ônibus ao longo do corredor; (iv) divisão baseada em pesquisas sobre e desce; (v) divisão segundo os setores censitários; e (vi) divisão segundo os bairros. Entretanto, optou-se por uma alternativa adicional de critério: pontos de parada de ônibus. Isso se deve ao grande interesse em compreender a dinâmica próximo a esses locais, onde se concentram grande parte dos conflitos de sistemas prioritários para ônibus. A seguir, são descritas as vantagens e desvantagens identificadas em cada uma das alternativas de construção dos *buffers* consideradas.

(i) divisão linear dos corredores exclusivos de ônibus

A divisão linear dos corredores em trechos de dimensão previamente estabelecida possibilitaria ter um maior controle sobre o número de *buffers* utilizados para a etapa de modelagem, além de possibilitar de forma prática o manuseio dos dados. Entretanto, esse critério poderia trazer grande heterogeneidade entre trechos de um mesmo corredor dependendo da distância longitudinal arbitrada para segmentação, podendo trazer ruídos à modelagem pela grande variabilidade de características nos diferentes trechos (*buffers*) de análise.

Por exemplo, um mesmo corredor pode ter características de ambiente rural, com poucos lotes lindeiros, e em seguida uma densa malha urbana em seu entorno. Uma divisão

linear poderia perder essa informação, caso os limites de trecho não se localizassem nos limites destas configurações. Assim, a segmentação linear em distâncias pré-definidas arbitradas para o estudo não seria um critério consistente devido à imprecisão contida no agrupamento de variáveis de cada *buffer*.

(ii) divisão segundo as Zonas de Tráfego

Avaliou-se a possibilidade de utilizar Zonas de Tráfego adotadas nas Entrevistas Domiciliares (EDOM) conduzida em Porto Alegre. As linhas de limite entre Zonas de Tráfego interceptando os corredores indicariam os locais nos quais o corredor deveria ser segmentado. Essa abordagem dividiria o corredor conforme padrões de viagem, o que seria um critério claro e razoavelmente simples para a segmentação. Entre as limitações associadas ao uso das Zonas de Tráfego tem-se que a EDOM mais recente disponível data de 2003, de forma que os padrões de viagem podem não representar o período recente, a que os dados de acidentes de trânsito se referem. Além disso, as Zonas de Tráfego são constituídas de dimensões muito díspares, e variações de características físicas do ambiente poderiam não ser detectadas.

(iii) divisão segundo o padrão de ocupação dos ônibus ao longo do corredor

A utilização de classificações de níveis de serviço para o transporte coletivo possibilitaria segmentar os corredores de forma consistente com sua utilização. Os trechos nos quais houvesse variação do nível de serviço formariam áreas distintas de corredor para análise. Essa é uma medida diretamente relacionada ao sistema de transporte coletivo, refletindo seus padrões de demanda. Contudo, o levantamento de dados de ocupação visual pode incluir subjetividade e, em corredores de maior demanda, pode não indicar limites claros. Esse critério de segmentação poderia resultar em trechos muito longos, visto que o carregamento dos ônibus sofre pouca variação ao longo das linhas, reduzindo significativamente o número de *buffers* e afetando os procedimentos de modelagem. Além disso, não foram encontrados dados disponíveis de ocupação visual para os corredores de Porto Alegre.

(iv) divisão baseada em pesquisas Sobe-Desce

De forma similar ao item (iii), a utilização de pesquisas Sobe-Desce consideraria similaridades de carregamento em trechos adjacentes dos corredores para formar os segmentos a serem utilizados como *buffers* na modelagem. Ainda que se tenha também o risco de gerar segmentos muito longos, essa abordagem traria maior variabilidade ao processo de segmentação do que a utilização de pesquisas de ocupação visual. Descartou-se essa opção pela indisponibilidade de dados referentes à rede de corredores de Porto Alegre, o que poderia gerar atrasos à pesquisa.

(v) divisão segundo os Setores Censitários

Os Setores Censitários se mostraram uma forte alternativa para segmentação. As linhas de limite entre os diferentes setores interceptando os corredores indicariam as linhas nas quais estes deveriam ser divididos. Os Setores Censitários representam agrupamentos habitacionais com 250 a 350 unidades residenciais (IBGE, 2010). A variação de densidade habitacional entre setores adjacentes pode indicar também variabilidade nas características físicas do ambiente. Áreas mais densas podem incluir aspectos mais propícios ao transporte ativo, enquanto setores mais amplos podem estar relacionados a uma infraestrutura voltada ao uso de veículos motorizados. Contudo, os Setores Censitários são definidos considerando limites físicos da malha urbana. Os corredores ficam sobre as linhas divisórias entre diferentes Setores Censitários, de forma que muitas vezes não é clara a área à qual cada segmento deveria se relacionar. As dimensões dos Setores Censitários variam muito também, afetando o número de buffers resultante. Adicionalmente, são disponibilizados pelo IBGE dados de 2010, os quais podem não refletir alterações recentes nos padrões de desenvolvimento urbano da cidade.

(vi) divisão segundo os Bairros

De forma ainda mais imprecisa do que os Setores Censitários, a divisão municipal em bairros pode não refletir padrões atuais de segmentação urbana. A divisão original dos bairros da cidade iniciou na década de 1950 e sofre eventuais atualizações, mas sem alterações significativas. Entende-se que a divisão existente de bairros pode não acomodar de forma apropriada os padrões atuais de uso do solo e desenvolvimento urbano. As áreas referentes

aos bairros podem também apresentar dimensões muito discrepantes entre si, o que poderia gerar segmentos de corredores com tamanhos muito distintos e com comparabilidade prejudicada. Esse critério seria problemático também dependendo da disposição dos corredores, caso estes fossem transversais às áreas ou localizados nas vias de limite das áreas.

Diante do exposto, optou-se por fazer a definição das áreas de análise a partir de um raio de influência no entorno das paradas. Assim, adotou-se como critério a localização dos pontos de parada de ônibus para definição dos centroides dos *buffers*, em um total de 195 elementos. Destaca-se que os abrigos dos pontos de parada de ônibus nos corredores exclusivos em faixas centrais em Porto Alegre variam muito de extensão. A grande parte dos pontos de parada possui entre 30 e 50 m de comprimento. Na Av. Érico Veríssimo, por exemplo, há pontos de parada com 4 m de comprimento. Na Av. Assis Brasil, por outro lado, observou-se abrigos unidirecionais com mais de 70 m de extensão. Para fins de simplificação, todos os pontos de parada foram representados a partir de um ponto, produzido a partir da coordenada geográfica referente a este local e convencionado no centro dos pontos de parada.

Ao analisar as vias próximas ao corredor, cujas características podem também influenciar o uso de transporte coletivo e a qualidade de acesso a este, foi necessário utilizar *buffers* amplos que envolvessem não apenas a via na qual o corredor se insere. Cogitou-se utilizar *buffers* de até 500 m, devido ao propósito de compreender a dinâmica de atração de passageiros e possíveis impactos em segurança em vias secundárias. Entretanto, esse raio causava uma sobreposição muito grande entre *buffers*, o que impossibilitaria as análises. Torres (2016) indica 150 metros como o melhor ajuste de raio para considerar características locais e do entorno de áreas de estudo da acidentalidade. Aplicou-se então, através do *software* QGIS, um *buffer* circular de 150 m em torno de todos os pontos de parada ao longo dos corredores centrais.

Ao aplicar este *buffer*, identificou-se uma grande sobreposição de áreas de análise, prejudicando a segmentação da via. Isso ocorre devido à grande proximidade dos pontos de parada, que em corredores centrais se dividem em módulos distintos por sentido. Em muitos casos, a defasagem dos módulos de embarque e desembarque em sentidos opostos tem por objetivo um melhor aproveitamento da largura de caixa viária disponível na via em que o corredor se insere. Por esse motivo, a maioria dos *buffers* no entorno de pontos de parada não formou áreas de análise circulares, e sim no formato alongado. Entende-se que estas estruturas compõem um elemento único de influência para a segurança viária da região. Dessa forma, optou-se por considerar módulos distintos de parada em sentidos opostos em um mesmo local como um ponto único de parada.

Criou-se, então, um arquivo com *buffers* formados por conjuntos de paradas, quando em uma mesma via encontravam-se estações em dois sentidos, ou por estações únicas e independentes. Esse é o caso no corredor na Av. Baltazar de Oliveira Garcia, com módulos únicos para dois sentidos de circulação, e nas Av. Azenha, João Pessoa e Bento Gonçalves, que possuem trechos com pequenos sistemas de vias binárias com faixas exclusivas centrais para transporte coletivo, com estações em um único sentido de circulação. Ao final desse processo, obteve-se 101 *buffers*, conforme ilustra a Figura 8.

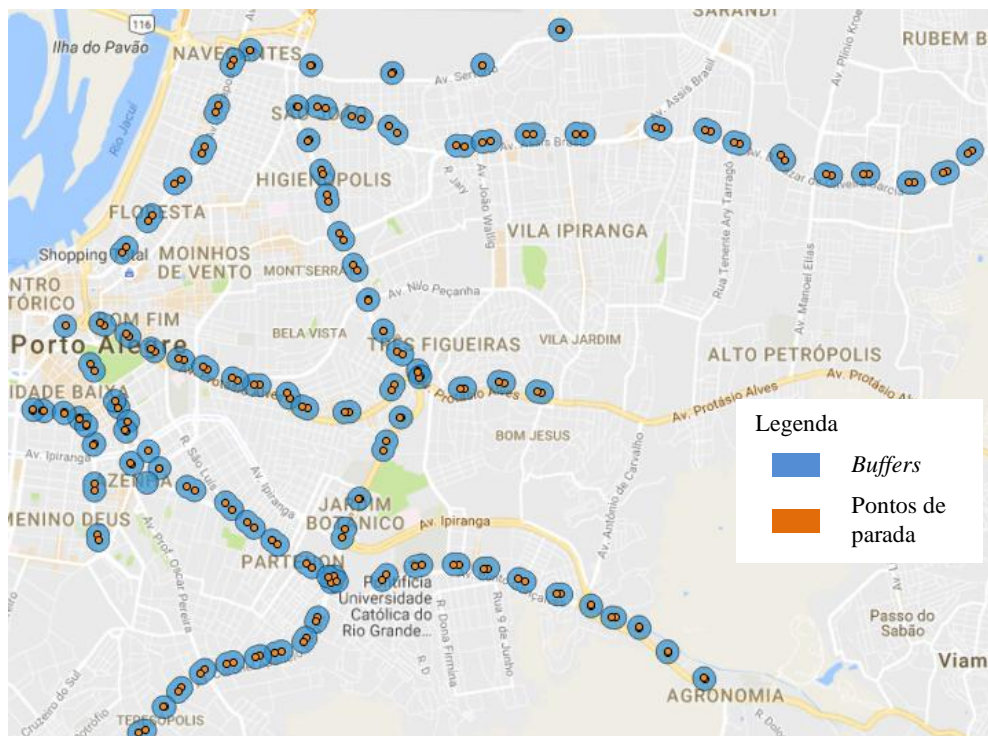


Figura 8: Buffers agrupando pontos de paradas de ônibus em diferentes sentidos

(fonte: elaborado pela autora)

Há variação na distância entre módulos de paradas de diferentes sentidos, em parte devido à diferença nas extensões dos abrigos em diferentes corredores. Como resultado, os *buffers* de união de paradas apresentam dimensões distintas. Entretanto, entende-se que módulos únicos para dois sentidos de circulação resultam de fato em uma área menor de influência no entorno do sistema, enquanto módulos distintos por sentido, distantes um do outro em alguns metros, resultam em uma maior área de perturbação. Dessa forma, ainda que as áreas de estudo para cada um dos casos sejam diferentes, a extensão do entorno do corredor no qual o ponto de parada gera perturbação é adequadamente incluído nos *buffers* em ambos

os casos. Ambos os casos são analisados neste estudo com o critério idêntico de influência em até 150 m do perímetro da parada, conforme indica a Figura 9.

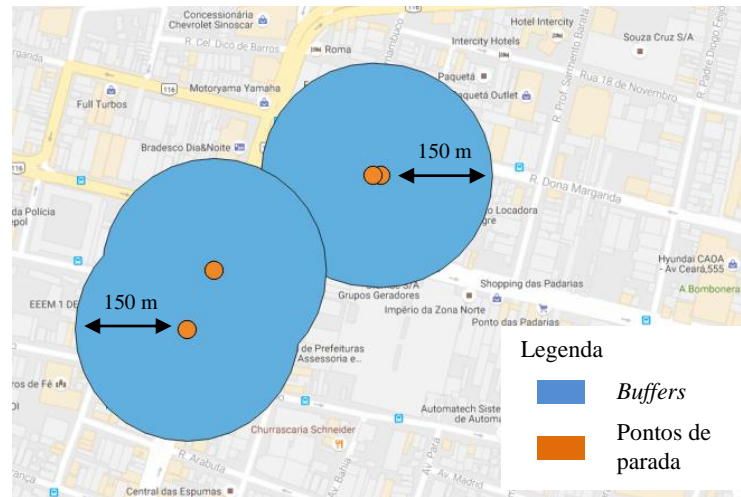


Figura 9: *Buffers* com tamanhos distintos, mas áreas de influência proporcionais

(fonte: elaborado pela autora)

5.2 RESULTADO DA SELEÇÃO DE VARIÁVEIS

Os dados das variáveis selecionadas para o estudo referentes aos acidentes registrados, à infraestrutura viária e desenho urbano foram organizados em planilhas. Isso foi feito inicialmente através de filtros no *software* QGIS, atribuindo os dados das variáveis georreferenciadas a cada um dos *buffers* de análise. Foram agregadas informações em formatos *dummy* (valores binários, representados por 1 na presença da variável e 0 na ausência desta), contínuas e discretas.

Esses arquivos foram exportados para o *Microsoft Excel*, onde receberam novos filtros e cruzamentos de informações. Isso foi feito, por exemplo, ao produzir variáveis referentes a percentual viário com determinada característica em relação ao total de malha viária dentro da área de estudo. O Quadro 2 apresenta a lista de variáveis selecionadas que são as variáveis candidatas a compor os modelos estimados. Além do nome das variáveis a tabela apresenta uma breve descrição sobre a informação contida na variável e a relevância de inclusão dessa variável no estudo. O Quadro 3 apresenta a descrição das fontes de obtenção dos dados de cada variável, o tipo de variável (definido em relação ao seu valor numérico) e a unidade de grandeza de cada uma.

Quadro 2: Resumo das variáveis candidatas

Variável	Descrição	Relevância	Fonte
Acidentalidade			
<i>Chuva</i>	Registro de condição climática com chuva no momento do acidente.	Piores condições de visibilidade, mas maior cautela dos condutores.	Shaheed <i>et al.</i> (2013) Elvik <i>et al.</i> (2009)
<i>Auto</i>	Registro de envolvimento de veículos motorizados privados (passeio e/ou táxis) no acidente.	Maiores quilometragens percorridas estão relacionadas a maior risco de acidentes e mortes.	Garceau <i>et al.</i> (2013) Ewing e Dumbaugh (2009)
<i>Onibus</i>	Registro de envolvimento de ônibus urbanos ou metropolitanos no acidente.	Principal veículo nos corredores exclusivos e podem causar acidentes com grande número de vítimas.	WRI (2015) Elvik <i>et al.</i> (2009)
<i>Moto</i>	Registro de envolvimento de pelo menos uma motocicleta no momento do acidente.	Veículo está relacionado a alto risco em segurança viária e volume é crescente nas cidades.	Vasconcellos (2013) Walton, Buchanan e Murray (2013)
<i>Bicicleta</i>	Registro do envolvimento de pelo menos uma bicicleta no acidente	Ciclistas são usuários vulneráveis da via, com maior exposição e risco de ferimentos em acidentes.	Dumbaugh, Li e Joh (2013) Zahabi <i>et al.</i> (2011)
<i>Diautil</i>	Valor 1 quando os acidentes ocorriam entre segunda e sexta-feira e valor 0 quando ocorriam sábado ou domingo.	Maior volume de veículos nas vias, maior exposição dos usuários da via.	Ewing e Dumbaugh (2009)
<i>Dia</i>	Valor 1 quando ocorrência do acidente foi registrada entre 06:00 e 18:00.	Melhores condições de visibilidade, mas maior volume de tráfego na via.	Elvik <i>et al.</i> (2009) Redelmeier e Raza (2017)
<i>AcIntersecao</i>	Indica se registro do acidente indica ocorrência em meio de quadra ou em interseção.	Interseções concentram maior número de conflitos, mas veículos muitas vezes estão com velocidades reduzidas.	Zhang <i>et al.</i> (2015) Marshall e Garrick (2011)
Desenho urbano			
<i>DecliveAB</i>	Desnível médio das vias inclusas no <i>buffer</i> .	Declives podem incentivar altas velocidades, pois veículos são impulsionados e acelerados.	Elvik <i>et al.</i> (2009)
<i>CompLink</i>	Média entre os comprimentos dos trechos viários dentro de cada <i>buffer</i> .	Tamanho de quadra está relacionado à velocidade empregada pelos veículos.	Lovegrove e Sayed (2006)
<i>PArteriais</i>	Proporção de trechos viários classificados como arteriais sobre o total de extensão viária em cada <i>buffer</i> .	Vias arteriais concentram maiores volumes de tráfego e maior número de registros de acidentes.	Dumbaugh e Rae (2009) Wier <i>et al.</i> , 2009
<i>P4aprox</i>	Proporção de interseções com 4 aproximações sobre o total de interseções em cada <i>buffer</i> .	Número de aproximações aumenta complexidade de movimentos permitidos e cria conflitos.	Lovegrove e Sayed (2006) Dumbaugh, Li e Joh (2013)

(continua)

Variável	Descrição	Relevância	Fonte
(continuação)			
<i>Semaforo</i>	Presença de pelo menos um semáforo no <i>buffer</i> .	Podem forçar redução de velocidade, mais podem indicar maior concentração de conflitos.	Kim <i>et al.</i> (2008)
<i>FTReta</i>	Presença de um caminho contínuo para pedestres ao longo de todas as pistas de rolamento.	Oportunidades contínuas e diretas de travessia podem possibilitar o acesso seguro aos pontos de parada de ônibus.	Pour-Rouholamin e Zhou (2016) Mohamed <i>et al.</i> (2013)
<i>FTEscGradil</i>	Faixa de travessia de pedestres possui um pequeno desvio e área de acúmulo de pedestres no canteiro central.	Faixas de travessia escalonadas criam um maior desvio para pedestres, e estes podem preferir se arriscar em travessias inseguras.	
<i>FTEscGradil</i>	Faixas de travessia de pedestres que, além do escalonamento, incluem gradis guiando os pedestres ao longo da travessia.	Gradis têm o propósito de guiar pedestres até travessias seguras, mas geram grandes desvios a estes.	
<i>PCalcada</i>	Percentual de domínio viário incluindo infraestruturas para pedestres dentro de cada <i>buffer</i> .	A ausência de calçadas expõe os pedestres a condições que aumentam o risco de atropelamentos.	Stevens e Salmon (2014) Elvik <i>et al.</i> (2009)
<i>PIluminacao</i>	Percentual de domínio viário incluindo elementos de iluminação dentro de cada <i>buffer</i> .	A iluminação é um importante elemento para garantir intervisibilidade durante condições de baixa luminosidade, como à noite.	Elvik <i>et al.</i> (2009) Redelmeier e Raza (2017)
<i>PRampa</i>	Percentual de domínio viário incluindo rampas de acessibilidade para pedestres com mobilidade reduzida dentro de cada <i>buffer</i> .	A ausência de rampas pode expor pessoas com mobilidade reduzida a maior risco de acidentes, caso precisem circular pelas faixas de rolamento.	WADoT (2016)
<i>PMeiofio</i>	Percentual de domínio viário incluindo meio-fio segregador das faixas de rolamento e da calçada dentro de cada <i>buffer</i> .	O meio-fio indica a segregação entre pedestres e veículos motorizados, minimizando possíveis conflitos.	Elvik <i>et al.</i> (2009)
<i>PPavimento</i>	Percentual de domínio viário incluindo pavimentação das faixas de rolamento dentro de cada <i>buffer</i> .	A presença de pavimento indica infraestrutura de maior qualidade, mas que pode incentivar velocidades mais altas.	Elvik <i>et al.</i> (2009)
<i>PARborizacao</i>	Percentual de domínio viário incluindo arborização dentro de cada <i>buffer</i> .	Arborização qualifica espaços urbanos, contribui para reduções de velocidade através de ilusões de ótica de estreitamento da via, mas podem trazer problemas de visibilidade.	FHWA (2013)
Densidade			
<i>DensPop</i>	Número médio de habitantes por quilômetro quadrado dentro de cada <i>buffer</i> .	Maior densidade urbana se reflete em maior exposição ao tráfego, portanto com maior geração de viagens e maior risco de acidentes.	Ewing e Dumbaugh (2009)

(continua)

Variável	Descrição	Relevância	Fonte
(conclusão)			
<i>DensDom</i>	Número de domicílios por quilômetro quadrado dentro de cada <i>buffer</i> .	Maior número de domicílios está relacionado a maior número de viagens geradas e maior risco de acidentes.	Ewing e Dumbaugh (2009)
<i>DensComServ</i>	Número de estabelecimentos de comércio e serviço por quilômetro quadrado dentro de cada <i>buffer</i> .	Densidade de comércios e serviços indica uso do solo favorável ao deslocamento por modos não motorizados.	Kashani, Rabieyan e Besharati (2014) Mohamed <i>et al.</i> (2013) Cervero <i>et al.</i> (2009)
Diversidade			
<i>IDiv</i>	Ponderação de uso do solo, considerando número de escolas, domicílios, comércios, serviços e indústrias.	Diversidade de uso do solo contribui para caminhabilidade e uso de modos não motorizados nos deslocamentos.	Kashani, Rabieyan e Besharati (2014) Mohamed <i>et al.</i> (2013) Cervero <i>et al.</i> (2009)
Socioeconômicas			
<i>Renda</i>	Valor médio mensal de renda no conjunto de domicílios dentro de cada <i>buffer</i> .	Áreas com renda mais baixa tendem a receber menos investimentos em infraestrutura. Áreas com renda mais alta podem gerar mais viagens motorizadas.	Forbes e Habib (2015) Marshall e Garrick (2011)
<i>Menor18</i>	Número de habitantes de cada <i>buffer</i> com idade inferior a 18 anos.	Crianças e jovens estão entre as principais vítimas de acidentes de trânsito. São vulneráveis e com habilidades ainda pouco desenvolvidas para lidar com tráfego.	Ukkusuri <i>et al.</i> (2012) Dumbaugh, Li e Joh (2013)
<i>Maior65</i>	Número de habitantes de cada <i>buffer</i> com idade superior a 65 anos.	Idosos são mais vulneráveis a acidentes de trânsito, mas menos ativos.	Ukkusuri <i>et al.</i> (2012) Dumbaugh, Li e Joh (2013)
Instituições de ensino			
<i>NEscolas</i>	Número de instituições de ensino presente em cada <i>buffer</i> .	Instituições de ensino atraem grande número de viagens. Escolas geram deslocamentos principalmente de crianças, usuários da via vulneráveis.	Cervero <i>et al.</i> (2009)

(fonte: elaborado pela autora)

Uma das dificuldades encontradas nessa etapa decorre da sobreposição entre as áreas de *buffers* próximos. Isso poderia ocasionar uma duplicação de variáveis, visto que a contagem de acidentes em uma área de sobreposição atribuiria um mesmo acidente aos dois *buffers* sobrepostos. Entende-se como adequado atribuir os registros de acidentes ao *buffer* cuja parada esteja fisicamente mais próxima, ou seja, por menor distância.

Entretanto, isso não foi possível devido a limitações da ferramenta usada nesta tarefa o QGIS. Dessa forma, cada registro de área sobreposta foi atribuído a um único *buffer* através de um critério aleatório da própria ferramenta utilizada. Isso não deve gerar distorções significativas nas análises, visto que ainda seguem sendo respeitadas distâncias de até 150 m dos pontos de parada e, portanto, estas variáveis estão a distâncias similares dos pontos de parada que constituem os *buffers* sobrepostos.

Quadro 3: Lista de variáveis avaliadas no estudo

<u>Variável</u>	<u>Elemento analisado</u>	<u>Tipo de variável</u>	<u>Unidade de análise</u>	<u>Fonte</u>	<u>Formato do arquivo</u>
Dependente					
<i>Atropelamento</i>	Atropelamentos	discreta	Acidente	EPTC - aberto	csv
<i>AcTotais</i>	Total de acidentes	discreta	Acidente	EPTC - aberto	csv
Independente					
Acidentalidade					
<i>Chuva</i>	Condição climática chuvosa (0;1)	<i>dummy</i>	Acidente	EPTC - aberto	csv
<i>Auto</i>	Automóveis (0;1)	<i>dummy</i>	Acidente	EPTC - aberto	csv
<i>Onibus</i>	Ônibus (n°)	discreta	Acidente	EPTC - aberto	csv
<i>Moto</i>	Motocicleta (0;1)	<i>dummy</i>	Acidente	EPTC - aberto	csv
<i>Bicicleta</i>	Bicicleta (0;1)	<i>dummy</i>	acidente	EPTC - aberto	csv
<i>Diautil</i>	Dia útil de semana (0;1)	<i>dummy</i>	acidente	EPTC - aberto	csv
<i>Dia</i>	Dia (0;1)	<i>dummy</i>	acidente	EPTC - aberto	csv
<i>AcIntersecao</i>	Interseção (0;1)	<i>dummy</i>	acidente	EPTC - aberto	csv
Estrutura urbana					
Desenho urbano					
<i>DecliveAB</i>	Declividade média (%)	contínua	<i>buffer</i>	EPTC - cedido	shapefile
<i>CompLink</i>	Comprimento médio de quadra (m)	contínua	<i>buffer</i>	EPTC - cedido	shapefile
<i>PArteriais</i>	Parcela de extensão de arteriais (%)	contínua	<i>buffer</i>	EPTC - cedido	shapefile
<i>P4aprox</i>	Interseções com 4 aproximações (%)	contínua	<i>buffer</i>	EPTC - cedido	shapefile
<i>Semaforo</i>	Semáforo (n°)	discreta	<i>buffer</i>	EPTC - cedido	shapefile
<i>FTReta</i>	Faixa de trav. de pedestres contínua (n°)	discreta	<i>buffer</i>	Coletado	shapefile
<i>FTEscGradil)</i>	Faixa de trav. de pedestres escalonada - C/Gradil (n°)	discreta	<i>buffer</i>	Coletado	shapefile
<i>FTEscSGradil</i>	Faixa de trav. de pedestres escalonada - S/Gradil (n°)	discreta	<i>buffer</i>	Coletado	shapefile
<i>PCalcada</i>	Dom. com calçada (%)	contínua	<i>buffer</i>	IBGE	csv
<i>PIluminacao</i>	Dom. com iluminação pública (%)	contínua	<i>buffer</i>	IBGE	csv
<i>PRampa</i>	Dom. com rampa cadeirante (%)	contínua	<i>buffer</i>	IBGE	csv
<i>PMeiofio</i>	Dom. com meio fio (%)	contínua	<i>buffer</i>	IBGE	csv
<i>PPavimento</i>	Dom. com pavimento (%)	contínua	<i>buffer</i>	IBGE	csv
<i>PARborizacao</i>	Dom. com arborização (%)	contínua	<i>buffer</i>	IBGE	csv
Densidade					
<i>DensPop</i>	Densidade populacional (hab/km ²)	contínua	<i>buffer</i>	IBGE	csv e shapefile
<i>DensDom</i>	Densidade de domicílios (dom/km ²)	contínua	<i>buffer</i>	IBGE	csv e shapefile
<i>DensComServ</i>	Densidade de comércios e serviços (n°/km ²)	contínua	<i>buffer</i>	SMIC - open data	csv
Diversidade					
<i>IDiv</i>	Índice de diversidade (%)		<i>buffer</i>	SMIC - open data	csv
Socioeconômicas					
<i>Renda</i>	Renda média (renda/dom)	contínua	<i>buffer</i>	IBGE	csv
<i>Menor18</i>	N. pessoas < 18 (n°)	discreta	<i>buffer</i>	IBGE	csv
<i>Maior65</i>	N. pessoas > 65 (n°)	discreta	<i>buffer</i>	IBGE	csv
Instituições de ensino					
<i>NEscolas</i>	n. Escolas (n°)	discreta	acidente	SMED - open data	shapefile

(fonte: elaborado pela autora)

A variável *Chuva* foi gerada a partir da base de acidentes. Os registros classificam a condição climática do momento do acidente em "Bom", "Nublado", "Chuva" e "Não Cadastrado". Quando o registro de acidentes indica "Chuva", a variável recebia 1 como resultado. Nas outras situações, à variável atribuía-se o valor 0. Entende-se que condições de chuva resultam em condições de tráfego adversas, menor aderência em frenagens e piores condições de visibilidade, podendo influenciar na ocorrência de acidentes (ELVIK *et al.*, 2009). Entretanto, alguns estudos indicam que pode haver nessas condições maior cautela por parte dos condutores (YASMIN; ELURU; UKKUSURI, 2014).

A variável *Auto* indica o envolvimento de veículos motorizados privados no acidente. Isso inclui veículos de passeio e táxis. Quando um ou mais destes veículos estavam envolvidos, a variável recebia o valor de 1. Na ausência deles, atribuía-se à variável o valor 0.

A variável *Onibus* indicava o número de ônibus urbanos ou metropolitanos descritos no registro do acidente. Não é possível filtrar a faixa na qual ocorreu o acidente, de forma que não é possível saber se os ônibus envolvidos estavam de fato trafegando no corredor central. Entretanto, a maior parcela do fluxo de ônibus nas vias que acomodam corredores centrais ocorre nessas infraestruturas, de forma que assumiu-se por simplificação a prevalência de envolvimento de ônibus circulando no interior dos corredores. Embora a base de acidentes indique também o envolvimento de lotações¹ nos acidentes, estas não circulam dentro dos corredores centrais e sim junto ao meio-fio; portanto, a presença de lotações não foi considerada nesse estudo.

A variável *Moto* indica o envolvimento de pelo menos uma moto no momento do acidente. De forma similar, a variável "Bicicleta" (Bicicleta) indica que pelo menos uma bicicleta esteve envolvida no acidente.

A base de acidentes inclui um campo indicando o dia da semana em que o acidente ocorreu. A variável *Diautil*, recebeu valor 1 quando os acidentes ocorriam entre segunda e sexta-feira, recebendo o valor 0 quando ocorriam sábado ou domingo. Considerando o foco dessa pesquisa em transporte coletivo, entende-se os dias úteis como os de maior volume de ônibus circulando e passageiros no sistema, o que pode influenciar a ocorrência de acidentes. Por simplificação, não foram excluídos os feriados ou dias de condições atípicas (greves dos operadores de transporte coletivo, por exemplo).

Na variável *Dia* é representado o turno em que o acidente ocorreu, conforme os registros do acidente. Caso o registro descrevesse um acidente entre 06:00 e 18:00, o registro

¹ Serviço de transporte coletivo por microônibus oferecido em Porto Alegre. Possui tarifa mais elevada do que ônibus e um serviço seletivo e qualificado.

do acidente identificava que este ocorreu no período do dia, e, portanto, era atribuído à variável o valor 1. Do contrário, a variável recebe valor 0, o que significa que o registro descreve o acidente como ocorrido durante o turno "Noite". Caso sejam consideradas apenas condições de luminosidade, o período definido como noturno sofreria variações em determinados períodos do ano (como entre outubro e fevereiro, quando a cidade tem um horário diferenciado de verão) e entre diferentes cidades, devido às variações de posição solar. O período aqui considerado foi definido pelas equipes responsáveis pelos registros de acidentes como padrão para as ocorrências na cidade.

A variável *AcIntersecao* é relacionada ao campo "Local", na base de acidentes, que indica se o acidente ocorreu em "Logradouro" ou "Cruzamento". Assim, a variável recebe o valor 1 se o acidente foi registrado em "Cruzamento".

A variável *DecliveAB* indica o desnível médio das vias inclusas no *buffer*. Para o cálculo, utilizou-se o *shapefile* indicando a declividade de cada uma das vias inclusas na área. As vias poderiam ter aclives ou declives, sendo representados por declividades positivas ou negativas. Isso resultava em declividades sendo anuladas entre si. Dessa forma, utilizou-se o valor absoluto do declive das vias, e então calculou-se a média destes. Isso oferece um bom indício, portanto, do quão acidentado o terreno é, ainda que não indique de forma direta ou ponderada as declividades.

Para obter a variável *CompLink*, foram filtrados os trechos viários pertencentes a cada *buffer* através do *shape* de malha viária. Então, foi calculada a média entre os comprimentos de links. Alguns destes não ficavam totalmente no interior das áreas, tendo parcela de sua extensão na área externa dos *buffers*. Entretanto, aceitou-se esse aspecto de simplificação, pelo entendimento de que ainda assim o comprimento dessas quadras se relaciona com os dados internos ao *buffer*.

A variável *PArteriais* foi obtida também através do *shape* de malha viária. Neste, a hierarquia viária era descrita em um dos campos. A variável foi calculada através da seleção dos trechos viários no interior do *buffer* e, posteriormente, do cálculo da proporção de trechos viários classificados como arteriais sobre o total de extensão viária em cada um dos *buffers*.

Para obter a variável *P4aprox*, utilizou-se um *shape* descrevendo as interseções da malha viária e o número de aproximações em cada uma. O cálculo consistiu na proporção de interseções com 4 aproximações sobre o total de interseções em cada *buffer*.

A variável *Semaforo* descreve o número de semáforos presentes em cada um dos *buffers*. A presença de semáforos pode resultar em uma redução forçada na velocidade dos veículos ao causar uma interrupção do tráfego. Por outro lado, pode indicar um local com

maior número de conflitos entre diferentes usuários da via, o que pode ter levado à necessidade de adoção do dispositivo para gerenciamento de fluxos.

As faixas de travessia de pedestres presentes no acesso ao sistema prioritário para ônibus também foram incluídas como variáveis. A oportunidade segura de travessia é um importante elemento na segurança de sistemas prioritários para ônibus (DIOGENES; LINDAU, 2011). A forma como essas infraestruturas são oferecidas pode influenciar em sua utilização pelos pedestres. Portanto, dividiu-se a presença de faixas de travessia de pedestres em três variáveis distintas. *FTReta* indica a presença de um caminho contínuo para pedestres ao longo de todas as pistas de rolamento. *FTEscSGradil* indica que a faixa de travessia de pedestres possui um pequeno desvio e área de acúmulo de pedestres no canteiro central. Por fim, *FTEscGradil* representa as faixas de travessia de pedestres que, além do escalonamento, incluem gradis guiando os pedestres ao longo da travessia, com o intuito de evitar travessias em outros pontos da via.

As variáveis *PCalcada*, *PIluminacao*, *PRampa*, *PMeiofio*, *PPavimento* e *PARborizacao* indicam o percentual de domínio viário (extensão das vias) incluindo essas infraestruturas dentro de cada *buffer*. Estas informações foram extraídas a partir de dados coletados no Censo 2010.

A variável *DensPop* indica o número médio de habitantes por quilômetro quadrado, enquanto a variável *DensDom* apresenta o número de domicílios dentro dessa mesma extensão. Ambas também foram obtidas a partir de registros do Censo 2010.

A variável *IDiv* representa a ponderação de uso do solo. Essa variável foi proposta por Torres (2016) como uma analogia à entropia do uso do solo, indicador proposto por Cervero e Kockelman (1997) diante da ausência de informações referentes à área de ocupação de cada tipo de uso do solo.

A variável *IDiv* considerou o número de escolas, domicílios, comércios, serviços e indústrias identificadas dentro de cada *buffer*. O número de domicílios foi definido para cada *buffer* a partir da proporção entre os valores da variável *DensDom* (obtida através de levantamentos do Censo 2010) e as áreas dos *buffers*. O número de escolas, comércios, serviços e indústrias foi obtido para cada um dos *buffers* a partir de dados disponibilizados pela SMIC (Secretaria Municipal de Indústria e Comércio) e pela SMED (Secretaria Municipal de Educação). O cálculo resulta em uma variável contínua, e quanto mais próxima de 1 maior a diversidade do uso do solo no buffer. A variável foi obtida através da Equação 17.

$$I_{div} = \frac{|\sum_i P_i \times \ln(P_i)|}{\ln(i)} \quad (17)$$

Onde:

i = número de diferentes usos do solo na área de *buffer*;

P_i = proporção de unidades de cada tipo de uso do solo em relação ao total de unidades na área de análise.

A variável *DensComServ* indica o número de estabelecimentos de comércio e serviço por quilômetro quadrado. O número de estabelecimentos de comércio e serviços em cada *buffer* foi obtido a partir dos alvarás registrados na SMIC. A variável foi produzida a partir da divisão desse número pela área de cada *buffer*.

A variável *Renda* descreve o valor médio mensal de renda para o conjunto de domicílios dentro do *buffer*. As variáveis "N. pessoas < 18" (Menor18) e "N. pessoas > 65" (Maior65) indicam o número de habitantes de cada *buffer* com essas faixas etárias. Optou-se por mapear jovens e idosos, visto que estes são mais vulneráveis na ocorrência de um acidente. Estas variáveis socioeconômicas foram também obtidas a partir de levantamento do Censo 2010. Por fim, "n. Escolas" (NEscolas) indica o número de instituições de ensino presente em cada *buffer*.

Para obtenção dos valores das variáveis originárias da base do IBGE a partir do Censo 2010, os *buffers* foram subdivididos em polígonos quando interceptados por mais de um setor censitário. Dessa forma, o valor da variável associada a cada setor censitário era ponderado em relação à área de seu respectivo polígono dentro do *buffer*.

Entretanto, nem todos os setores censitários foram abrangidos nos dados coletados no Censo 2010. Nas planilhas de consolidação, isso resultava em células retornando erros quando havia um polígono relacionado a um setor censitário sem dados disponíveis, o que dificultava a tabulação de dados. Para resolver esse problema, atribuiu-se o valor 0 às parcelas das variáveis representadas nos polígonos com setores censitários cujos dados não foram coletados. Isso resultava em um peso de ponderação maior para as informações contidas nos outros polígonos dentro do *buffer*, com dados disponíveis das variáveis em estudo, possibilitando a obtenção de valores sem erros para todas as áreas de estudo. Esta solução poderia resultar em uma tendência dos dados, devido à ausência de informações específicas de algumas localidades. Entretanto, essa simplificação precisou ser adotada em poucos casos, de forma que o impacto foi considerado irrelevante dentro do escopo de estudo.

A Tabela 2 apresenta a estatística descritiva das variáveis selecionadas. A diferença de valores entre as colunas referentes aos modelos de frequência de acidentes totais e de atropelamentos se deve à ausência de atropelamentos em alguns *buffers*, o que gerou pequenas alterações na estatística descritiva de cada um desses tipos de acidentes. Além disso, a estatística descritiva das variáveis *dummy* resultou algumas vezes em médias contínuas e valores mínimos e máximos diferentes de 0 e 1. Isso resultou da soma das ocorrências das variáveis *dummy* dentro de cada *buffer*. Ainda que essas variáveis pudessem resultar apenas em 0 ou 1, sua soma e média poderiam resultar em valores discretos e contínuos, respectivamente.

Tabela 2: Estatística descritiva das variáveis selecionadas

Variáveis	AcTotais				Atropelamentos			
	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Dependentes								
<u>Modelo de Frequência</u>								
AcTotais	94,91	55,13	2,00	250,00	100,07	52,59	18,00	250,00
Atropelamentos	7,72	6,34	0,00	30,00	8,21	6,22	1,00	30,00
<u>Modelo de Severidade</u>								
AcTotais	1,32	0,48	1,00	3,00	-	-	-	-
Atropelamentos	-	-	-	-	2,05	0,21	2,00	3,00
Independentes								
<u>Modelo de Frequência</u>								
P4aprox (%)	0,31	0,26	0,00	1,00	0,32	0,26	0,00	1,00
AcIntersecao (0;1)	29,77	28,86	0,00	162,00	31,54	28,86	0,00	162,00
Diautil (0;1)	77,34	44,80	2,00	210,00	81,53	42,76	13,00	210,00
Auto (0;1)	83,55	49,73	2,00	228,00	88,13	47,60	17,00	228,00
Onibus (n°)	7,76	7,06	0,00	35,00	8,19	7,05	0,00	35,00
Moto (0;1)	20,87	10,89	1,00	55,00	21,97	10,23	1,00	55,00
Chuva (0;1)	7,89	6,28	0,00	34,00	8,34	6,19	0,00	34,00
Dia (0;1)	71,85	42,26	2,00	198,00	75,66	40,53	15,00	198,00
Bicicleta (0;1)	0,77	0,88	0,00	4,00	0,82	0,89	0,00	4,00
PArteriais (%)	0,29	0,17	0,00	1,00	0,29	0,16	0,00	1,00
CompLink (m)	151,99	98,33	66,70	824,64	151,19	98,72	66,70	824,64
DecliveAB (%)	0,02	0,02	0,00	0,09	0,02	0,02	0,00	0,09
DensComServ (n°/km²)	1594,55	1656,04	0,00	9242,57	1649,13	1690,19	0,00	9242,57
DensPop (hab/km²)	8559,12	4621,47	0,01	22125,93	8522,32	4587,73	0,01	22125,93
DensDom (dom/km²)	3641,67	2254,76	0,00	10971,22	3624,85	2253,34	0,00	10971,22
NEscolas (n°)	0,73	0,82	0,00	3,00	0,73	0,83	0,00	3,00
FTEscGrad (n°)	0,78	0,90	0,00	3,00	0,78	0,90	0,00	3,00
FTEscSGrad (n°)	0,31	0,50	0,00	2,00	0,33	0,51	0,00	2,00
FTReta (n°)	0,76	0,97	0,00	4,00	0,78	0,96	0,00	4,00
IDiv (%)	0,45	0,16	0,00	0,79	0,46	0,16	0,00	0,79
Semaforo (n°)	1,23	1,06	0,00	5,00	1,28	1,05	0,00	5,00
Menor18 (n°)	94,54	45,93	18,26	275,95	96,13	46,58	18,26	275,95
Maior65 (n°)	69,87	21,44	27,48	130,46	70,10	21,57	27,48	130,46
Renda (renda/dom)	4553,28	2325,57	1974,54	14242,40	4425,46	2281,78	1974,54	14242,40
PMeiofio (%)	0,92	0,17	0,16	1,00	0,92	0,18	0,16	1,00
PRampa (%)	0,37	0,22	0,00	0,96	0,36	0,21	0,00	0,96
PIluminacao (%)	0,95	0,10	0,46	1,00	0,95	0,10	0,46	1,00

(continua)

Variáveis	AcTotais				Atropelamentos			
	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
(conclusão)								
PPavimento (%)	0,93	0,15	0,27	1,00	0,93	0,16	0,27	1,00
PCalcada (%)	0,91	0,19	0,04	1,00	0,91	0,19	0,04	1,00
PArborizacao (%)	0,92	0,13	0,46	1,00	0,91	0,14	0,46	1,00
<i>Modelo de Severidade</i>								
P4aprox (%)	0,32	0,26	0,00	1,00	0,30	0,26	0,00	1,00
Iseveridade	1,32	0,48	1,00	3,00	1,32	0,48	1,00	3,00
AcIntersecao (0;1)	0,31	0,46	0,00	1,00	0,31	0,46	0,00	1,00
Diautil (0;1)	0,81	0,39	0,00	1,00	0,81	0,39	0,00	1,00
Auto (0;1)	0,88	0,32	0,00	1,00	0,88	0,32	0,00	1,00
Onibus (n°)	0,08	0,27	0,00	1,00	0,08	0,27	0,00	1,00
Moto (0;1)	0,22	0,41	0,00	1,00	0,22	0,41	0,00	1,00
Bicicleta (0;1)	0,01	0,09	0,00	1,00	0,01	0,09	0,00	1,00
Chuva(0;1)	0,08	0,28	0,00	1,00	0,08	0,28	0,00	1,00
Dia (0;1)	0,76	0,43	0,00	1,00	0,76	0,43	0,00	1,00
PArteriais (%)	0,29	0,16	0,00	1,00	0,29	0,16	0,00	1,00
CompLink (m)	143,96	82,06	66,70	824,64	143,96	82,06	66,70	824,64
(continua)								
(conclusão)								
DecliveAB (%)	0,02	0,02	0,00	0,09	0,02	0,02	0,00	0,09
DensComServ (n°/km²)	2020,66	1831,34	0,00	9242,57	2020,66	1831,34	0,00	9242,57
DensPop (hab/km²)	3926,44	2309,86	0,00	10971,22	3926,44	2309,86	0,00	10971,22
DensDom (dom/km²)	9113,59	4768,58	0,01	22125,93	9113,59	4768,58	0,01	22125,93
NEscolas (n°)	0,76	0,84	0,00	3,00	0,76	0,84	0,00	3,00
FTEscGradil (n°)	0,78	0,92	0,00	3,00	0,78	0,92	0,00	3,00
FTEscSGradil (n°)	0,31	0,50	0,00	2,00	0,31	0,50	0,00	2,00
FTReta (n°)	0,87	1,00	0,00	4,00	0,87	1,00	0,00	4,00
FTTravessia (n°)	1,96	1,13	0,00	5,00	1,96	1,13	0,00	5,00
IDiv (%)	0,48	0,16	0,00	0,79	0,48	0,16	0,00	0,79
Semaforo (n°)	1,52	1,15	0,00	5,00	1,52	1,15	0,00	5,00
Menor18 (n°)	91,15	44,13	18,26	275,95	91,15	44,13	18,26	275,95
Maior65 (n°)	73,81	21,84	27,48	130,46	73,81	21,84	27,48	130,46
Renda (renda/dom)	4640,63	2334,44	1974,54	14242,40	4640,63	2334,44	1974,54	14242,40
PMeiofio (%)	0,93	0,15	0,16	1,00	0,93	0,15	0,16	1,00
PRampa (%)	0,38	0,20	0,00	0,96	0,38	0,20	0,00	0,96
Plluminacao (%)	0,95	0,10	0,46	1,00	0,95	0,10	0,46	1,00
PPavimento (%)	0,94	0,14	0,27	1,00	0,94	0,14	0,27	1,00
PCalcada (%)	0,92	0,17	0,04	1,00	0,92	0,17	0,04	1,00
PArborizacao (%)	0,91	0,14	0,46	1,00	0,91	0,14	0,46	1,00

(fonte: elaborado pela autora)

5.3 RESULTADO DA ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Os dados de acidentes de trânsito e alguns dados de geometria viária utilizados foram disponibilizados pela EPTC. Em relação aos dados de acidentes de trânsito, foram disponibilizados dados de acidente registrados entre 2012 e 2014 em toda a cidade. Informações socioeconômicas e de estrutura urbana foram obtidos a partir de bases de dados abertas. Alguns dados foram considerados relevantes ao estudo, embora indisponíveis nas

fontes de dados originalmente identificadas. Nesse caso, foram coletados dados georreferenciados referentes a essas variáveis, através do *Google Earth*.

Conforme Torres (2016), as bases de dados disponibilizadas pela EPTC adotavam sistema de coordenadas *Gauss-Kruger* 1940 e, posteriormente, Projeção Transversa de Mercator para Porto Alegre - TM-POA, visando compatibilizar os dados municipais com o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), padrão adotado nacionalmente. Dessa forma, fez-se necessário adequar os arquivos para compatibilizá-los com coordenadas geográficas no formato WGS84 (*World Geodetic System*, de 1984), por meio de ferramentas nos programas *TransCad* 4.5 e QGIS.

Como resultado desta etapa obteve-se, em um mesmo arquivo georreferenciado, as informações consolidadas das diferentes fontes de consulta utilizadas (ex: IBGE, EPTC, PMPA, visitas *in loco*). Assim, foi possível a visualização espacial dos acidentes e a associação de variáveis referentes a características geométricas, socioeconômicas e de ambiente construído.

5.4 RESULTADO DO MODELO DE FREQUÊNCIA DE ACIDENTES

A seguir, apresenta-se os resultados obtidos a partir da estimação do modelo de regressão Binomial Negativo para o modelo de frequência de acidentes.

5.4.1 Resultado da análise de multicolinearidade do modelo de frequência de acidentes

A Tabela 3 apresenta os resultados da análise de multicolinearidade para o número total de acidentes registrados na área de estudo. Nesta etapa, identificou-se grande correlação entre densidade populacional e densidade de domicílios. Isso é explicado pela intuitiva proporção direta entre número de residências e número de habitantes em determinada área de estudo.

Houve também multicolinearidade entre as variáveis *PCalcada*, *PPavimento* e *PMeiofio*. Neste caso, a remoção da variável indicando presença de pavimento resultou em menor VIF para as duas outras variáveis mencionadas, embora ainda não o bastante para estar de acordo com o limite estipulado de VIF máximo de 10 (HAIR *et al.*, 2009). Vias sem pavimentação muitas vezes não incluem delimitação de área segura específica para a movimentação de pedestres, com o acostamento muitas vezes servindo de passeio. Além

disso, a pavimentação da via está em geral vinculada à instalação de meio-fio e área dedicada para pedestres.

Também houve indicativos de relação entre *Diautil*, *Dia* e *Auto*. Isso é possivelmente explicado pela relação entre maior volume de veículos nas vias e quilometragem percorrida durante o dia e em especial de segunda a sexta-feira, para deslocamentos diários com propósitos principalmente de trabalho e estudo.

Com o intuito de não incluir no modelo variáveis correlacionadas, e que poderiam distorcer os resultados da modelagem, utilizou-se valores de VIF que ficassem abaixo de 10, ajustando os valores através da remoção de algumas das variáveis identificadas como conflitantes. Após testes de combinações, optou-se por remover as variáveis *Auto*, *Dia*, *Diautil*, *DensDom*, *PMeiofio*, e *PPavimento*. Dessa forma, todos os VIF resultaram em valores adequados.

Tabela 3: Regressão linear de variáveis para o modelo de frequência de acidentes totais

Variável	Lista inicial		Lista final	
	Tolerância	VIF	Tolerância	VIF
<i>P4aprox (%)</i>	0,546	1,832	0,621	1,611
<i>AcIntersecao (0;1)</i>	0,072	13,829	0,228	4,386
<i>Diautil (0;1)</i>	0,009	112,629	-	-
<i>Auto (0;1)</i>	0,011	92,787	-	-
<i>Onibus (n°)</i>	0,237	4,225	0,320	3,121
<i>Moto (0;1)</i>	0,186	5,375	0,371	2,699
<i>Chuva (0;1)</i>	0,178	5,631	0,209	4,776
<i>Dia (0;1)</i>	0,014	71,175	-	-
<i>Bicicleta (0;1)</i>	0,547	1,829	0,623	1,605
<i>PArteriais (%)</i>	0,650	1,538	0,774	1,291
<i>CompLink (m)</i>	0,276	3,624	0,374	2,671
<i>DecliveAB (%)</i>	0,405	2,469	0,439	2,278
<i>DensComServ (n°/km²)</i>	0,285	3,508	0,314	3,190
<i>DensPop (hab/km²)</i>	0,016	62,114	-	3,127
<i>DensDom (dom/km²)</i>	0,016	63,053	-	-
<i>NEscolas (n°)</i>	0,575	1,738	0,660	1,514
<i>FTEscGrad (n°)</i>	0,430	2,323	0,564	1,773
<i>FTEscSGrad (n°)</i>	0,499	2,003	0,586	1,706
<i>FTRetas (n°)</i>	0,504	1,986	0,549	1,821
<i>IDiv (%)</i>	0,296	3,380	0,351	2,851
<i>Semaforo (n°)</i>	0,435	2,297	0,471	2,121
<i>Menor18 (n°)</i>	0,274	3,646	0,431	2,319
<i>Maior65 (n°)</i>	0,384	2,604	0,447	2,238

(continua)

Variável	Lista inicial		Lista final	
	Tolerância	VIF	Tolerância	VIF
				(conclusão)
<i>Renda (renda/dom)</i>	0,282	3,552	0,330	3,030
<i>PMeiofio (%)</i>	0,019	51,369	-	-
<i>PRampa (%)</i>	0,292	3,422	0,330	3,031
<i>PIluminacao (%)</i>	0,080	12,455	-	7,295
<i>PPavimento (%)</i>	0,036	27,543	-	-
<i>PCalcada (%)</i>	0,037	27,330	-	6,886
<i>PARborizacao</i>	0,171	5,841	0,187	5,341

(fonte: elaborado pela autora)

De forma similar, testou-se a correlação das mesmas variáveis usando como variável dependente *Atropelamentos*. Essa variável indica o número de acidentes dentro do *buffer* cujo registro oficial descreve no campo "Tipo de acidente" a ocorrência como um atropelamento. O interesse nesse tipo de acidente específico se justifica pela obrigatoriedade de travessia dos pedestres que desejam acessar o transporte coletivo em sistemas prioritários para ônibus posicionados em faixas centrais; portanto, com maior exposição ao risco de atropelamentos.

Os resultados da análise de correlação para a variável dependente *Atropelamentos* foram semelhantes aos obtidos na análise de correlação utilizando como variável dependente *AcTotais*. As mesmas variáveis indicaram ser correlacionadas e, portanto, removeu-se da lista também sob o mesmo critério de VIF até 10 as variáveis *Auto*, *Dia*, *Diautil*, *DensDom*, *PMeiofio*, e *Pavimento*. A Tabela 4 apresenta os coeficientes finais após a remoção destas variáveis para a análise de correlação da frequência de atropelamentos.

Tabela 4: Lista final de variáveis do modelo de frequência de atropelamentos

Variável	Tolerância	VIF
<i>P4aprox (%)</i>	0,621	1,611
<i>AcIntersecao (0;1)</i>	0,228	4,386
<i>Onibus (n°)</i>	0,320	3,121
<i>Moto (0;1)</i>	0,371	2,699
<i>Chuva (0;1)</i>	0,209	4,776
<i>Bicicleta (0;1)</i>	0,623	1,605
<i>PARteriais (%)</i>	0,774	1,291
<i>CompLink (m)</i>	0,374	2,671
<i>DecliveAB (%)</i>	0,439	2,278
<i>DensComServ (n°/km²)</i>	0,314	3,190
<i>DensPop (hab/km²)</i>	0,320	3,127
<i>NEscolas (n°)</i>	0,660	1,514
<i>FTEscGrad (n°)</i>	0,564	1,773

(continua)

Variável	Tolerância	VIF
	(conclusão)	
<i>FTEscSGrad</i> (n°)	0,586	1,706
<i>FTReta</i> (n°)	0,549	1,821
<i>IDiv</i> (%)	0,351	2,851
<i>Semaforo</i> (n°)	0,471	2,121
<i>Menor18</i> (n°)	0,431	2,319
<i>Maior65</i> (n°)	0,447	2,238
<i>Renda</i> (<i>renda/dom</i>)	0,330	3,030
<i>PRampa</i> (%)	0,330	3,031
<i>PIluminacao</i> (%)	0,137	7,295
<i>PCalcada</i> (%)	0,145	6,886
<i>PARborizacao</i> (%)	0,187	5,341

(fonte: elaborado pela autora)

5.4.2 Resultado da estimação do modelo de frequência de acidentes

Modelos binomiais negativos foram estimados para frequência de acidentes totais e frequência de atropelamentos. Inicialmente, foi modelada a variável dependente total de acidentes registrados em função das variáveis independentes selecionadas.

Como passo seguinte, aplicou-se a técnica de *backwards elimination*, removendo uma variável de cada vez, considerando sempre como critério de remoção o maior valor p apresentado, indicando menor significância. No primeiro modelo estimado, as variáveis *Moto* e *AcIntersecao* foram estatisticamente significativas considerando um nível de confiança de 90%. Todas as demais variáveis apresentavam valores p muito acima dos estabelecidos como limite, de significância em nível de confiança de 90%. A Tabela 5 apresenta os resultados do modelo de frequência de acidentes totais estimado.

Tabela 5: Modelo binomial negativo para frequência de acidentes totais

Variável	Coefficiente	Wald Chi-Quadrado	Valor-p
<i>(Intercepto)</i>	3,339	180,458	0,000
<i>AcIntersecao (0;1)</i>	0,012	7,807	0,005
<i>Moto (0;1)</i>	0,034	8,303	0,004
<i>(Escala)</i>	1		
<i>(Binomial Negativo)</i>	1		

(fonte: elaborado pela autora)

Posteriormente, foi modelada a variável dependente *Atropelamentos* em função das variáveis independentes selecionadas. Essa variável indica o número de atropelamentos registrados em cada um dos *buffers*. Entende-se que pode haver maior relação entre estes

acidentes específicos e a área de estudo, no entorno de pontos de parada de ônibus, visto que o acesso ao sistema em corredor central obrigatoriamente demanda a travessia de pedestres na via. Ao estimar o modelo, inicialmente não houve significância de nenhuma variável. Após a aplicação da técnica de *backwards elimination* obteve-se três variáveis significativas em um nível de confiança de 95%: *Ônibus*, *Moto* e *IDiv*, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Variáveis significativas em atropelamentos no modelo binomial negativo

Variável	Coefficiente	Wald Chi-Quadrado	Valor p
(Intercepto)	0,113	0,084	0,772
Onibus (n°)	0,051	7,366	0,007
Moto (0;1)	0,035	7,321	0,007
IDiv (%)	1,275	3,557	0,059
(Escala)	1		
(Binomial Negativo)	1		

(fonte: elaborado pela autora)

5.4.3 Resultado do cálculo dos efeitos marginais do modelo de frequência de acidentes

Após a estimação do modelo Binomial Negativo, calculou-se os efeitos marginais de cada uma das variáveis presentes no modelo. A Tabela 7 apresenta os resultados para o modelo de frequência de acidentes totais e a Tabela 8 apresenta os resultados para a estimação do modelo de frequência de atropelamentos.

Tabela 7: Efeitos marginais para modelo de frequência de acidentes totais

Variável	Valor do coeficiente	Incremento	Tipo de variável	Efeito marginal
<i>AcIntersecao</i> (0;1)	0,012	1,00	<i>dummy</i>	0,74
<i>Moto</i> (0;1)	0,034	1,00	<i>dummy</i>	1,50
<i>Const.</i>	3,339			

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 8: Efeitos marginais para modelo de frequência de atropelamentos

Variável	Valor do coeficiente	Incremento	Tipo de variável	Efeito marginal
<i>Onibus</i> (n°)	0,051	1,00	discreta	0,13
<i>Moto</i> (0;1)	3,500E-02	1,00	<i>dummy</i>	0,09
<i>Idiv</i> (%)	1,275	0,04	contínua	3,25
<i>Const.</i>	0,113			

(fonte: elaborado pela autora)

Os efeitos marginais foram calculados conforme o tipo de variável analisada. A variável *dummy* teve seu efeito calculado a partir da diferença dos valores 0 e 1. Os efeitos marginais das variáveis contínuas foram calculados a partir de um incremento referente a 10%

do valor médio da variável, indicado pela coluna *a*. Os efeitos das variáveis discretas foram calculados pelo acréscimo de uma unidade.

5.5 RESULTADO DO MODELO DE SEVERIDADE DE ACIDENTES

Nesta seção, apresenta-se os resultados dos dois modelos de severidade estimados nesse estudo.

5.5.1 Resultado da análise de multicolinearidade do modelo de severidade de acidentes

A análise de multicolinearidade das variáveis candidatas do modelo de severidade de acidente foi aplicada na base de dados agregada por registros de acidentes. No processo de organização dos dados, cada acidente de trânsito foi atribuído ao *buffer* no qual estava inserido. A agregação de dados para a análise de correlação do modelo de severidade de acidentes consistiu em consolidar em uma mesma planilha os registros de cada acidente com todas as variáveis que foram agregadas por *buffer*, com base no *buffer* a que cada acidente pertencia.

A análise de correlação das variáveis candidatas do modelos de severidade de acidentes incluiu todas as variáveis analisadas no modelo de frequência de acidentes. A única alteração é referente à criação da variável *FTravessia*, que agrupa as variáveis *FTReta*, *FTEscGradil* e *FTEscSGradil*. A agregação teve por objetivo trazer maiores chances de que as faixas de travessia sejam significativas no modelo.

A Tabela 9 apresenta a lista final de variáveis após a análise de correlação. De forma similar à análise de correlação para o modelo de frequência de acidentes, foram removidas as variáveis *DensDom*, *PMeiofio* e *PPavimento*, por apresentarem multicolinearidade com as demais variáveis, podendo prejudicar a robustez do modelo.

Tabela 9: Lista final de variáveis para o modelo de severidade de acidentes totais

Variável	Tolerância	VIF
<i>P4aprox (%)</i>	0,699	1,431
<i>AcIntersecao (0;1)</i>	0,904	1,106
<i>Diautil (0;1)</i>	0,958	1,044
<i>Auto (0;1)</i>	0,750	1,333
<i>Onibus (n°)</i>	0,821	1,217
<i>Moto (0;1)</i>	0,824	1,214
<i>Bicicleta (0;1)</i>	0,988	1,012
<i>Chuva (0;1)</i>	0,984	1,016
<i>Dia (0;1)</i>	0,957	1,045
<i>PArteriais (%)</i>	0,776	1,288
<i>CompLink (m)</i>	0,333	3,005
<i>DecliveAB (%)</i>	0,523	1,914
<i>DensComServ (n°/km²)</i>	0,328	3,049
<i>DensPop (hab/km²)</i>	0,403	2,479
<i>NEscolas (n°)</i>	0,693	1,443
<i>FTravessia (n°)</i>	0,636	1,572
<i>IDiv (%)</i>	0,323	3,095
<i>Semaforos (n°)</i>	0,609	1,641
<i>Menor18 (n°)</i>	0,408	2,453
<i>Maior65 (n°)</i>	0,475	2,104
<i>Renda (renda/dom)</i>	0,389	2,568
<i>PRampa (%)</i>	0,479	2,087
<i>PIluminacao (%)</i>	0,124	8,059
<i>PCalcada (%)</i>	0,119	8,382
<i>PARborizacao (%)</i>	0,180	5,551

(fonte: elaborado pela autora)

Foi realizada também a análise de correlação para a lista completa de variáveis utilizando como variável dependente *Atropelamentos*. Além das variáveis eliminadas na análise de correlação do modelo de severidade dos acidentes totais, a análise de correlação dos atropelamentos indicou colinearidade das variáveis com *PIluminacao*. Essa variável foi também eliminada. A Tabela 10 apresenta a lista final da análise de correlação das variáveis do modelo de severidade de atropelamentos.

Tabela 10: Lista final de variáveis para modelo de severidade de atropelamentos

Variável	Tolerância	VIF
<i>P4aprox (%)</i>	0,605	1,654
<i>AcIntersecao (0;1)</i>	0,925	1,082
<i>Diautil (0;1)</i>	0,937	1,068
<i>Auto (0;1)</i>	0,284	3,516
<i>Onibus (n°)</i>	0,315	3,175
<i>Moto (0;1)</i>	0,319	3,136
<i>Bicicleta (0;1)</i>	0,885	1,130
<i>Chuva (0;1)</i>	0,968	1,034
<i>Dia (0;1)</i>	0,946	1,057
<i>PArteriais (%)</i>	0,668	1,496
<i>CompLink (m)</i>	0,332	3,010
<i>DecliveAB (%)</i>	0,524	1,909
<i>DensComServ (n°/km¹)</i>	0,276	3,623
<i>DensPop (hab/km²)</i>	0,347	2,884
<i>NEscolas (n°)</i>	0,690	1,450
<i>FTravessia (n°)</i>	0,732	1,367
<i>IDiv (%)</i>	0,260	3,851
<i>Semaforos (n°)</i>	0,563	1,778
<i>Menor18 (n°)</i>	0,431	2,320
<i>Maior65 (n°)</i>	0,458	2,185
<i>Renda (renda/dom)</i>	0,419	2,389
<i>PRampa (%)</i>	0,465	2,152
<i>PArborizacao (%)</i>	0,212	4,723
<i>PCalcada (%)</i>	0,131	7,653

(fonte: elaborado pela autora)

5.5.2 Resultado da estimação do modelo de severidade de acidentes

A análise dos efeitos das variáveis estudadas na severidade dos acidentes foi feita através da estimação dos modelos *Logit* Ordenado e Multinomial. Ambos foram aplicados usando como variável dependente os acidentes totais e os atropelamentos. As estimações foram feitas através da técnica *backwards elimination*, removendo as variáveis menos significativas a cada rodada do modelo.

5.5.2.1 Modelo *Logit* Ordenado

A estimação do modelo *Logit* Ordenado para acidentes totais resultou em 17 variáveis significativas. Destas, 16 são significativas em um nível de confiança de 95%. A variável *IDiv*

demonstrou significância em um nível de confiança de 88%. Embora não seja um valor dentro do limite previamente estabelecido, é um valor estatisticamente aceitável. Esta variável tem sido considerada promissora em estudos recentes da gestão de mobilidade, e tem sido abordada em estudos recentes que tratam dos impactos do ambiente construído na segurança viária e na caminhabilidade. Portanto, optou-se por manter esta variável na lista de fatores significativos. A Tabela 11 apresenta a tabela completa das 17 variáveis significativas para o modelo *Logit* Ordenado para acidentes totais.

Tabela 11: Modelo *Logit* Ordenado para acidentes totais

Variável	Valor do coeficiente	Teste-t	Valor p
<i>AcIntersecao (0;1)</i>	-1,58	-20,49	0,00
<i>Auto (0;1)</i>	-2,19	-19,94	0,00
<i>Bicicleta (0;1)</i>	3,47	11,51	0,00
<i>Chuva (0;1)</i>	-0,438	-3,94	0,00
<i>DecliveAB (%)</i>	6,02	2,91	0,00
<i>Dia (0;1)</i>	-0,914	-13,72	0,00
<i>Diautil (0;1)</i>	-0,545	-7,45	0,00
<i>FTravessia (nº)</i>	0,113	4,02	0,00
<i>IDiv (%)</i>	-0,312	-1,56	0,12*
<i>Maior65 (nº)</i>	-0,00679	-4,00	0,00
<i>Menor18 (nº)</i>	0,00290	3,85	0,00
<i>Moto (0;1)</i>	2,70	37,10	0,00
<i>Onibus (nº)</i>	0,857	8,29	0,00
<i>P4aprox (%)</i>	0,247	1,99	0,05
<i>PCalcada (%)</i>	0,496	2,46	0,01
<i>Renda (média/dom)</i>	-4,80e-005	-2,91	0,00
<i>Semaforos (nº)</i>	0,0632	2,13	0,03
<i>tau1</i>	-1,44	-6,21	0,00
<i>tau2</i>	4,91	17,99	0,00
Log-likelihood: -3.927,904			
Pseudo-R ² : 0,625			

*Valor significativo em um nível de confiança de 88%.

(fonte: elaborado pela autora)

Todos os atropelamentos registrados na área de estudo resultaram em vítimas fatais ou feridas. Portanto, não foram identificados registros de atropelamentos com nível de severidade 1 (apenas danos materiais). A aplicação do modelo *Logit* Ordenado foi comprometida com essa limitação dos dados, pois foram determinados apenas dois intervalos para a estimação da severidade dos atropelamentos: nível de severidade 2 e nível de severidade 3. Esse modelo não se adequa à situação em que há apenas duas categorias. A estimação do modelo resultou em falha na definição de intervalos, de forma que não foi possível aplicar o modelo *Logit* Ordenado para determinar as variáveis significativas na severidade de atropelamentos no entorno de paradas de ônibus.

5.5.2.2 Modelo *Logit* Multinomial

A estimação do modelo *Logit* Multinomial para acidentes totais resultou em 19 variáveis significativas. Destas, oito resultaram em coeficiente significativo para o nível 3 de severidade e 17 foram significativas para o nível 2 de severidade. A Tabela 12 apresenta a lista completa de variáveis significativas. As variáveis que incluem "M" no final dos nomes indicam o uso de seu coeficiente no nível de severidade 2.

As variáveis *CompLink* e *PARteriaisM* não apresentaram valores significativos em um nível de confiança de 95%. Apresentaram valores p 0,09 e 0,06, respectivamente, mas são valores aceitáveis para o propósito do estudo. Portanto, optou-se por mantê-las nos modelos estimados.

Tabela 12: Modelo *Logit* Multinomial para acidentes totais

Variável	Valor do coeficiente	Teste-t	Valor p
<i>AcIntersecao (0;1)</i>	-2,72	-4,35	0,00
<i>AcIntersecaoM (0;1)</i>	-1,61	-19,83	0,00
<i>Auto (0;1)</i>	-4,16	-13,92	0,00
<i>AutoM (0;1)</i>	-2,36	-18,95	0,00
<i>Bicicleta (0;1)</i>	4,31	5,37	0,00
<i>BicicletaM (0;1)</i>	4,16	8,58	0,00
<i>ChuvaM (0;1)</i>	-0,467	-4,09	0,00
<i>CompLink (m)</i>	-0,00506	-1,71	0,09*
<i>DecliveABM (%)</i>	5,73	2,63	0,01
<i>Dia (0;1)</i>	-1,40	-4,95	0,00
<i>DiaM (0;1)</i>	-0,978	-13,86	0,00
<i>DiautilM (0;1)</i>	-0,560	-7,29	0,00
<i>FTravessia (nº)</i>	0,443	3,87	0,00
<i>FTravessiaM (nº)</i>	0,105	3,60	0,00
<i>IDiv (%)</i>	-2,91	-3,11	0,00
<i>Maior65M (nº)</i>	-0,00840	-4,88	0,00
<i>Menor18M (nº)</i>	0,00397	5,11	0,00
<i>Moto (0;1)</i>	1,36	4,39	0,00
<i>MotoM (0;1)</i>	2,85	38,21	0,00
<i>OnibusM (nº)</i>	0,715	6,55	0,00
<i>P4aproxM (%)</i>	0,299	2,34	0,02
<i>PARteriaisM (%)</i>	-0,374	-1,87	0,06*
<i>PCalculadaM (%)</i>	0,426	1,97	0,05
<i>RendaM (renda/dom)</i>	-3,94e-005	-2,29	0,02
<i>SemaforosM (nº)</i>	0,0832	2,68	0,01
<i>ASC_1</i>	1,61	6,74	0,00
<i>ASC_2</i>	0,762	1,18	0,24
Log-likelihood: -3.854,382			
Pseudo-R ² : 0,631			

*Valores significativos em um nível de confiança de 90%.

(fonte: elaborado pela autora)

Estimou-se também o modelo *Logit* Multinomial para atropelamentos. Nenhum atropelamento registrado na área de estudo teve nível de severidade 1. A estimação do modelo

Multinomial para atropelamentos utilizou apenas os níveis de severidade 2 e 3. A Tabela 13 apresenta os resultados para as oito variáveis significativas da estimação deste modelo.

Tabela 13: Modelo Multinomial para atropelamentos

Variável	Valor do coeficiente	Teste-t	Valor-p
<i>Auto (0;1)</i>	-1,03	-2,65	0,01
<i>FTravessia (nº)</i>	0,255	1,72	0,09*
<i>IDiv (%)</i>	-3,67	-3,31	0,00
<i>Menor18 (nº)</i>	-0,0103	-2,23	0,03
<i>Moto (0;1)</i>	-1,74	-3,16	0,00
<i>P4aprox (%)</i>	-1,30	-1,70	0,09*
<i>PCalcada (%)</i>	3,60	2,59	0,01
<i>Semaforos (nº)</i>	-0,344	-1,68	0,09*
<i>ASC_1</i>	-2,74	-2,30	0,02
Log-likelihood: -132,799			
Pseudo-R ² : 0,738			

*Valores significativos em um nível de confiança de 90%.

(fonte: elaborado pela autora)

5.5.3 Resultado do cálculo dos efeitos marginais do modelo de severidade de acidentes

O cálculo dos efeitos marginais do modelo de severidade resultou em um valor para cada nível de severidade em cada uma das variáveis significativas. A Tabela 14 apresenta os efeitos marginais calculados para o modelo *Logit* Ordenado de acidentes totais. Esses valores representam o impacto de um acréscimo em cada uma das variáveis. O acréscimo analisado é representado pela informação contida no campo *a* da tabela. O incremento analisado é de 1,00 nas variáveis discretas e, para as variáveis contínuas, o incremento é de 10% da sua média. A coluna Sev 1 indica o coeficiente do nível de severidade 1 (apenas danos materiais). A coluna Sev2 representa o coeficiente obtido na significância da variável no nível de severidade 2 (acidentes com feridos). A coluna Sev3 apresenta o coeficiente para a significância no nível de severidade 3 (acidentes com vítimas fatais).

Tabela 14: Efeitos marginais do modelo *Logit* Ordenado de acidentes totais

Variável	Valor do coeficiente	Incremento	Tipo de variável	Média	Efeito marginal (Sev1)	Efeito marginal (Sev2)	Efeito marginal (Sev3)
<i>AcIntersecao (0;1)</i>	-1,58	1,00	<i>dummy</i>	0,31	0,182498	-0,1771	-0,0054
<i>Auto (0;1)</i>	-2,19	1,00	<i>dummy</i>	0,88	0,348298	-0,3348	-0,01349
<i>Bicicleta (0;1)</i>	3,47	1,00	<i>dummy</i>	0,01	-0,51185	0,438586	0,073264
<i>Chuva (0;1)</i>	-0,438	1,00	<i>dummy</i>	0,08	0,050192	-0,04817	-0,00202
<i>DecliveAB (%)</i>	6,02	0,002	contínua	0,02	-0,72334	0,690458	0,032881
<i>Dia (0;1)</i>	-0,914	1,00	<i>dummy</i>	0,76	0,118096	-0,11262	-0,00548
<i>Diautil (0;1)</i>	-5,45E-01	1,00	<i>dummy</i>	0,81	0,068245	-0,06483	-0,00342
<i>FTravessia (n°)</i>	0,113	1,00	discreta	1,96	-0,01376	0,013117	0,000643
<i>IDiv (%)</i>	-0,312	0,05	contínua	0,48	0,037345	-0,03566	-0,00168
<i>Maior65 (n°)</i>	-0,00679	1,00	discreta	73,81	0,000814	-0,00078	-3,7E-05
<i>Menor18 (n°)</i>	0,0029	1,00	discreta	91,15	-0,00035	0,000332	1,58E-05
<i>Moto (0;1)</i>	2,7	1,00	<i>dummy</i>	0,22	-0,46496	0,45127	0,013691
<i>Onibus (n°)</i>	0,857	1,00	<i>dummy</i>	0,08	-0,11479	0,108619	0,006168
<i>P4aprox (%)</i>	0,247	0,03	contínua	0,32	-0,0093	0,0090	0,0004
<i>PCalcada (%)</i>	0,496	0,09	contínua	0,92	-0,05986	0,05711	0,002746
<i>Renda (renda/dom)</i>	-4,80E-05	464,06	contínua	4640,63	5,74E-06	-5,5E-06	-2,6E-07
<i>Semaforos (n°)</i>	0,0632	1,00	discreta	1,52	-0,00764	0,007292	0,000352

(fonte: elaborado pela autora)

Os efeitos marginais representam o impacto que um incremento na variável avaliada tem na probabilidade de ocorrência de cada um dos níveis de severidade estudados. Por exemplo, a presença de chuva no momento do acidente aumenta a chance de resultar apenas em danos materiais em 5% e reduz a probabilidade de acidentes com vítimas feridas ou fatais. Similarmente, o aumento de 10% no índice de diversidade de uma região resulta no aumento da probabilidade de acidentes resultarem em danos materiais e reduz o risco de acidentes causarem vítimas feridas ou fatais em 3,5% e 0,1%, respectivamente. A Tabela 15 apresenta os efeitos marginais das variáveis significativas no modelo *Logit* Multinomial para acidentes totais.

Tabela 15: Efeitos marginais do modelo Multinomial para acidentes totais

Variável	Valor do coeficiente (Sev2)	Valor do coeficiente (Sev3)	Incremento	Tipo de variável	Média	Efeito marginal (Sev1)	Efeito marginal (Sev2)	Efeito marginal (Sev3)
<i>AcIntersecao (0;1)</i>	-1,61	-2,72	1,000	<i>dummy</i>	0,314	0,180864	-0,17451	-0,00636
<i>Auto (0;1)</i>	-2,36	-4,16	1,000	<i>dummy</i>	0,880	0,378475	-0,3383	-0,04018
<i>Bicicleta (0;1)</i>	4,16	4,31	1,000	<i>dummy</i>	0,008	-0,57448	0,563886	0,010593
<i>Chuva (0;1)</i>	-0,467		1,000	<i>dummy</i>	0,083	0,050426	-0,05245	0,002022
<i>CompLink (m)</i>		-0,00506	14,396	contínua	143,963	9,63E-06	1,89E-05	-2,9E-05
<i>DecliveAB (%)</i>	5,73		0,002	contínua	0,022	-0,65261	0,674645	-0,02203
<i>Dia (0;1)</i>	-0,978	-1,4	1,000	<i>dummy</i>	0,757	0,123559	-0,11842	-0,00514
<i>Diautil (0;1)</i>	-0,56		1,000	<i>dummy</i>	0,815	0,051057	-0,05066	-0,00039
<i>FTravessia (n°)</i>	0,105	0,443	1,000	discreta	1,961	-0,01104	0,015319	-0,00428
<i>IDiv (%)</i>		-2,91	0,048	contínua	0,478	0,00537	0,010543	-0,01591
<i>Maior65 (n°)</i>	-0,0084		1,000	discreta	73,814	0,000954	-0,00099	3,25E-05
<i>Menor18 (n°)</i>	0,00397		1,000	discreta	91,150	0,001024	0,003814	-0,00484
<i>Moto (0;1)</i>	2,85	1,36	1,000	<i>dummy</i>	0,220	-0,49407	0,499252	-0,00518
<i>Onibus (n°)</i>	0,715		1,000	<i>dummy</i>	0,082	-0,10729	0,101593	0,005694
<i>P4Aprox (%)</i>	0,299		0,032	contínua	0,324	-0,03404	0,03519	-0,00115
<i>PArteriais (%)</i>	-0,374		0,029	contínua	0,292	0,042453	-0,0439	0,001447
<i>PCalcada (%)</i>	0,426		0,092	contínua	0,920	-0,0487	0,050327	-0,00163
<i>Renda (renda/dom)</i>	-3,9E-05		464,063	contínua	4640,631	4,47E-06	-4,6E-06	1,53E-07
<i>Semaforos (n°)</i>	0,0832		1,000	discreta	1,521	-0,00957	0,009885	-0,00031

(fonte: elaborado pela autora)

A Tabela 16 apresenta os efeitos marginais das variáveis significativas no modelo *Logit* Multinomial de atropelamentos. Conforme descrito na seção anterior, não houve registros de atropelamentos com nível de severidade 1. Portanto, os efeitos marginais listados na tabela não consideram a probabilidade de acidentes apenas com danos materiais.

Tabela 16: Efeitos marginais do modelo *Logit* Multinomial para atropelamentos

Variável	Valor do coeficiente	Incremento	Tipo de variável	Média	Efeito marginal (Sev2)	Efeito marginal (Sev3)
<i>Auto (0;1)</i>	-1,03	1,00	<i>dummy</i>	0,41	0,04	-0,04
<i>FTravessia (n°)</i>	0,255	1,00	discreta	2,00	-0,01	0,01
<i>IDiv (%)</i>	-3,67	0,05	contínua	0,49	0,15	-0,15
<i>Menor18 (n°)</i>	-0,0103	1,00	discreta	88,83	0,00	0,00
<i>Moto (0;1)</i>	-1,74	1,00	<i>dummy</i>	0,29	0,05	-0,05
<i>P4Aprox (%)</i>	-1,3	0,03	contínua	0,30	0,06	-0,06
<i>PCalcada (%)</i>	3,6	0,09	contínua	0,90	-0,18	0,18
<i>Semaforo (n°)</i>	-0,344	1,00	Discreta	1,43	0,01	-0,01

(fonte: elaborado pela autora)

5.6 RESULTADO DA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELOS DE SEVERIDADE

A Tabela 17 apresenta a comparação dos resultados obtidos para o efeito marginal do modelo *Logit* Ordenado e do modelo Multinomial. Há 17 variáveis identificadas como significativas nos dois modelos; portanto com efeitos marginais comparáveis, e duas variáveis de resultado significativo apenas no modelo Multinomial. Conforme destaques na tabela, grande número de variáveis apresentou resultados distintos nos efeitos marginais dos dois modelos estimados em relação ao sinal do impacto (aumento ou redução na probabilidade) de determinado nível de severidade.

Tabela 17: Comparação entre resultados dos efeitos marginais obtidos para os modelos de severidade

Variável	Efeito marginal (Sev1)		Efeito marginal (Sev2)		Efeito marginal (Sev3)	
	OL	MNL	OL	MNL	OL	MNL
<i>AcIntersecao (0;1)</i>	0,182498	0,180864	-0,1771	-0,17451	-0,0054	-0,00636
<i>Auto (0;1)</i>	0,348298	0,378475	-0,3348	-0,3383	-0,01349	-0,04018
<i>Bicicleta (0;1)</i>	-0,51185	-0,57448	0,438586	0,563886	0,073264	0,010593
<i>Chuva (0;1)</i>	0,050192	0,050426	-0,04817	-0,05245	-0,00202	0,002022
<i>CompLink (m)</i>	-	9,63E-06	-	1,89E-05	-	-2,9E-05
<i>DecliveAB (%)</i>	-0,72334	-0,65261	0,690458	0,674645	0,032881	-0,02203
<i>Dia (0;1)</i>	0,118096	0,123559	-0,11262	-0,11842	-0,00548	-0,00514
<i>Diautil (0;1)</i>	0,068245	0,051057	-0,06483	-0,05066	-0,00342	-0,00039
<i>FTravessia (nº)</i>	-0,01376	-0,01104	0,013117	0,015319	0,000643	-0,00428
<i>IDiv (%)</i>	0,037345	0,00537	-0,03566	0,010543	-0,00168	-0,01591
<i>Maior65 (nº)</i>	0,000814	0,000954	-0,00078	-0,00099	-3,7E-05	3,25E-05
<i>Menor18 (nº)</i>	-0,00035	0,001024	0,000332	0,003814	1,58E-05	-0,00484
<i>Moto (0;1)</i>	-0,46496	-0,49407	0,45127	0,499252	0,013691	-0,00518
<i>Onibus (nº)</i>	-0,11479	-0,10729	0,108619	0,101593	0,006168	0,005694
<i>P4aprox (%)</i>	-0,02966	-0,03404	0,028311	0,03519	0,001346	-0,00115
<i>PArteriais (%)</i>	-	0,042453	-	-0,0439	-	0,001447
<i>PCalcada (%)</i>	-0,05986	-0,0487	0,05711	0,050327	0,002746	-0,00163
<i>Renda (renda/dom)</i>	5,74E-06	4,47E-06	-5,5E-06	-4,6E-06	-2,6E-07	1,53E-07
<i>Semaforos (nº)</i>	-0,00764	-0,00957	0,007292	0,009885	0,000352	-0,00031

(fonte: elaborado pela autora)

A Tabela 18 apresenta os resultados dos testes de adequação da estimação dos modelos *Logit* Ordenado e Multinomial. Os critérios de ajuste resultaram em grandezas bastante similares. Entretanto, o modelo *Logit* Multinomial teve um ajuste um pouco melhor do que o *Logit* Ordenado.

Tabela 18: Valores de ajuste dos modelos de severidade OL e MNL

	OL	MNL
Log-likelihood	-3.927,904	-3.854,382
Pseudo-R ²	0,625	0,631
AIC	7893,81	7762,76
BIC	8030	7956,3

(fonte: elaborado pela autora)

6 ANÁLISES E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Esta seção apresenta as interpretações e considerações acerca dos resultados apresentados no Capítulo 5. Apresenta-se a análise de forma detalhada, indicando a literatura relacionada aos elementos identificados como problemáticos para a segurança viária. Os modelos de frequência de acidentes resultaram em número consideravelmente menor de variáveis significativas se comparado aos modelos de severidade. Isso pode estar relacionado à maior influência que os volumes de tráfego, que não foram considerados nesse estudo, têm sobre a frequência do que sobre a severidade. Não foi possível identificar se as variáveis significativas foram relacionadas especificamente aos pontos de parada em si, devido às limitações inerentes ao estudo. Entretanto, observa-se que as variáveis significativas são consistentes com o ambiente de estudo: vias arteriais com grandes volumes de travessia de pedestres.

6.1 MODELO DE FREQUÊNCIA DE ACIDENTES TOTAIS

Com base nos dados analisados, foram identificadas duas variáveis significativas na estimação dos modelos de frequência de acidentes totais: *AcIntersecoes* (ocorrência do acidente em uma interseção) e *Moto* (envolvimento de pelo menos uma motocicleta no acidente). Ambas variáveis são descritas na literatura como relacionadas a conflitos no tráfego e, conseqüentemente, estão relacionadas a uma maior ocorrência de acidentes.

As interseções são pontos da via que concentram grande número de movimentos. Estes movimentos causam, na área de tráfego comum a todos usuários, muitos pontos de conflito. Uma interseção de quatro aproximações que permita todos os movimentos pode incluir até 32 pontos de conflito (GARBER e HOEL, 2014). Dessa forma, é compreensível que estes locais concentrem maior frequência de acidentes em relação a segmentos em meio de quadra. Os resultados dessa dissertação indicam que as interseções estiveram relacionadas a um aumento de frequência de acidentes na via, conforme a Tabela 19.

Estratégias para minimizar o risco de acidentes em interseções envolvem gerenciar os conflitos de tráfego nestes locais. Para isso, é importante entender a rede viária e a dinâmica do trânsito na região. Do ponto de vista de segurança, deve-se restringir os movimentos nas interseções, de forma a reduzir o número de pontos de conflito remanescentes. Isso pode ser feito através da indicação de rotas alternativas e laços de quadra (WRI, 2015). O controle

semafórico dos movimentos permitidos pode contribuir de forma significativa para organizar o tráfego nas interseções.

As motocicletas, por sua vez, estão fortemente relacionadas a uma maior frequência de acidentes. O cálculo de efeitos marginais indica que o envolvimento de uma motocicleta tem o dobro do impacto de interseções na ocorrência de acidentes, conforme Tabela 19. Isso pode estar relacionado à menor visibilidade que os demais veículos têm das motocicletas. Ao trafegar na via, as motocicletas podem entrar no ponto cego dos veículos, principalmente dos veículos de grande porte, entre os quais ônibus.

Esse problema é agravado pelas manobras muitas vezes repentinas dos motociclistas. A circulação entre os demais veículos é uma prática muito comum pelos usuários de motocicleta e agrava as condições de segurança para motociclistas (VASCONCELLOS, 2013). As possíveis soluções para mitigar esse problema são complexas, pois podem envolver o desincentivo ao uso da motocicleta e aumento da visibilidade do veículo pelos outros condutores. Isso pode ser feito através da oferta de modos de transporte atrativos e mais seguros, como um sistema de transporte coletivo de alta qualidade.

Tabela 19: Efeitos marginais das variáveis *AcIntersecao* e *Moto* do modelo de frequência de acidentes totais

Variável	Efeito marginal
<i>AcIntersecao (0;1)</i>	0,74
<i>Moto (0;1)</i>	1,50

(fonte: elaborado pela autora)

6.2 MODELO DE FREQUÊNCIA DE ATROPELAMENTOS

A estimação do modelo de regressão Binomial Negativo para os dados de frequência de atropelamentos destacou três variáveis como significativas: *Onibus*, *Moto* e *IDiv*. Todas as variáveis foram significativas em um nível de confiança de 95%. A significância da presença de ônibus na estimativa da frequência de atropelamentos, representada pela variável *Onibus*, reflete o pressuposto de que sistemas de transporte coletivo afetam diretamente na segurança de pedestres. Um dos possíveis motivos pode estar relacionado à barreira de visibilidade que ônibus criam entre os demais usuários da via.

Pedestres atravessando a via podem ser encobertos por ônibus trafegando e não serem vistos por automóveis ou motocicletas, ou ainda por outros ônibus, aumentando o risco de atropelamentos. Sistemas prioritários para ônibus em canteiro central também impactam a segurança de pedestres ao demandar a travessia dos passageiros para acesso ao sistema

independentemente do lado da via do qual estes são provenientes. Isso aumenta a exposição dos pedestres e os conflitos com o tráfego motorizado (WRI, 2015).

As melhorias de segurança associadas a essa variável concentram-se em oferecer oportunidades seguras de travessia para os pedestres acessarem os sistemas prioritários para ônibus em canteiro central, foco deste estudo, e em outros sistemas de transporte coletivo. É importante também avaliar a localização dos pontos de parada de ônibus considerando os principais pontos de atração de pessoas, como instituições de ensino e saúde, serviços públicos ou densas áreas residenciais ou comerciais, reduzindo a exposição dos passageiros para acessar o sistema.

Em relação à significância da variável que retrata o envolvimento de motocicletas nos acidentes (*Moto*), é possível que muitas dessas ocorrências estejam relacionadas ao tráfego de motocicletas entre as filas formadas pelos demais veículos. Essa prática é muito comum nos centros urbanos, quando há acúmulo de veículos na via em situações de congestionamento ou próximo a pontos com controle semafórico. Em condições de congestionamento, quando o tráfego para por longos períodos de tempo em segmentos viários, muitos pedestres consideram seguro realizar a travessia da via entre os veículos parados e fora das faixas de travessia de pedestres sinalizadas.

Nessas condições, os pedestres que atravessarem a via podem ser atingidos por motocicletas trafegando entre os veículos, já que mesmo em condições de congestionamento a maior parte das motocicletas segue em movimento. Os motociclistas são surpreendidos pelos pedestres e muitas vezes podem não conseguir parar a tempo de evitar um atropelamento. A pressa dos pedestres em acessar o sistema de transporte coletivo, ao verem um veículo se aproximando da parada, por exemplo, potencializa esse conflito. A solução para o conflito com pedestres envolve estudos de acessibilidade, fornecimento de oportunidades seguras de travessia nos pontos mais demandados e maior frequência dos sistemas de transporte, reduzindo o tempo de espera caso o pedestre veja um ônibus se aproximando da parada e não consiga embarcar a tempo.

O índice de diversidade (*IDiv*), representando a diversidade de uso do solo, está relacionado à atratividade da região e o incentivo que proporciona à adoção de modos não motorizados de deslocamento e foi a variável com maior impacto na frequência de atropelamentos. Uma área com uso misto e presença de pontos de atração afeta diretamente a caminhabilidade da região: áreas que possibilitem maior conectividade têm maior probabilidade de movimentação de pedestres a pé (LARRAÑAGA *et al.*, 2016). Áreas com uso de solo misto resultam em mais deslocamentos a pé, enquanto áreas com pouca

diversidade incentivam o uso de transporte motorizado. Portanto, há uma exposição maior de pedestres em áreas com uso do solo mais diversificados.

Áreas com maior caminhabilidade incentivam atividade física, o que contribui para a saúde dos pedestres e a segurança pública da região (PAYDAR *et al.*, 2017). Áreas propícias a deslocamentos a pé também reduzem a quilometragem percorrida em veículos motorizados, o que contribui para a segurança viária. Ainda que o impacto da diversidade na frequência de atropelamentos próximo a paradas de ônibus seja negativo e significativo, é importante atuar de forma a tornar estes ambientes seguros, e não de forma a reduzir a diversidade dessas áreas.

O risco de ocorrência de atropelamentos pode ser reduzido através da oferta de elementos de proteção aos pedestres, como calçadas de qualidade e oportunidades frequentes e seguras de travessia da via. As velocidades de tráfego devem também ser compatíveis com um ambiente urbano onde há presença de usuários vulneráveis. A Organização Mundial da Saúde recomenda limites de até 50 km/h em áreas urbanas, e até 30 km/h em áreas que concentrem volumes significativos de pedestres (WHO, 2015).

6.3 MODELO DE SEVERIDADE DE ACIDENTES TOTAIS

A modelagem da severidade dos acidentes ocorridos foi feita através de duas técnicas: (i) usando modelos do tipo *Logit* Ordenado e (ii) usando modelos do tipo *Logit* Multinomial. As variáveis explicativas significativas nos modelos de severidade de acidentes totais usando o modelo *Logit* Ordenado foram similares às resultantes no modelo Multinomial. No total, 17 variáveis foram significativas para o modelo de severidade de acidentes totais tanto na estimação do *Logit* Ordenado quanto do *Logit* Multinomial: *AcIntersecao*, *Auto*, *Bicicleta*, *Chuva*, *DecliveAB*, *Dia*, *Diautil*, *FTravessia*, *IDiv*, *Maior65*, *Menor18*, *Moto*, *Onibus*, *P4aprox*, *PCalcada*, *Renda* e *Semaforos*. O modelo Multinomial identificou ainda duas outras variáveis significativas: *CompLink* e *PARteriais*.

Os valores de efeito marginal das variáveis obtidas em ambos os modelos na aplicação para acidentes totais foram similares, embora alguns valores absolutos tenham sido mais altos no modelo MNL. Ainda que os valores diferissem nos efeitos marginais do modelo *Logit* Ordenado e do modelo Multinomial, a natureza do impacto (positivo ou negativo) encontrada foi a mesma para grande parte das variáveis em ambos os modelos. Notou-se que os efeitos marginais no modelo *Logit* Ordenado foram mais moderados do que no modelo Multinomial.

Muitas vezes, os modelos *Logit* Ordenado resultavam em efeitos marginais próximos de zero e, para a mesma variável no modelo Multinomial os valores eram acima de 10%.

A variável *AcIntersecao* refere-se à ocorrência de acidente em interseção na área de análise no entorno das paradas de ônibus. A modelagem indica que, para os acidentes ocorridos em interseções nas imediações das paradas de ônibus, há uma maior probabilidade de que acidentes resultem em danos materiais e uma redução na probabilidade de acidentes resultando em vítimas feridas ou fatais. Estes locais concentram grande número de conflitos entre diferentes fluxos de tráfego, o que explica o maior risco de acidentes de forma geral.

As interseções são interrupções de tráfego, nas quais os veículos reduzem sua velocidade e muitas vezes precisam parar. A redução de velocidade e a maior atenção empregada para lidar com os conflitos com o restante do tráfego nas interseções pode contribuir para reduzir a severidade de acidentes que ali ocorram. Os efeitos marginais indicam maior impacto em redução de acidentes de nível de severidade 2 (com feridos) do que nível de severidade 3 (fatais).

A variável *Auto* refere-se à presença de pelo menos 1 automóvel particular (carro ou taxi) no acidente. Essa variável provocou um aumento significativo na probabilidade de acidentes resultarem em danos materiais. No modelo *Logit* Ordenado, o impacto do envolvimento de um automóvel foi de 35% na probabilidade de danos materiais, enquanto no modelo Multinomial o aumento foi estimado em 38%. Ambos indicaram o aumento de acidentes com esse nível de severidade. Os valores absolutos obtidos nos dois modelos foram similares, mostrando consistência no impacto de automóveis na severidade de acidentes.

Os efeitos marginais de severidade para os acidentes totais indicam uma redução na probabilidade de acidentes resultarem nos níveis de severidade 2 e 3, revelando que acidentes envolvendo carros são menos graves. Isso possivelmente está relacionado à proteção física que o veículo propicia ao condutor e a passageiros no caso de um acidente envolvendo mais de um automóvel, por exemplo. No caso de acidentes envolvendo usuários vulneráveis da via, é provável que estes resultem em vítimas feridas ou fatais, devido ao diferencial de velocidades e massas dos usuários envolvidos. Essa significância foi identificada no modelo de severidade de atropelamentos.

A análise da variável *Bicicleta* indica que os acidentes envolvendo bicicletas resultam em menores chances de danos materiais e maior risco de acidentes com vítimas fatais ou feridas. Uma questão relevante que pode influenciar o impacto negativo na probabilidade desta variável em acidentes com danos materiais pode estar relacionado a problemas de dados subreportados, o que pode resultar em tendências nos dados disponíveis. Na ausência de

vítimas, é possível que muitos acidentes envolvendo bicicletas não sejam registrados, de forma que a base de dados utilizada pode não incluir muitos acidentes com danos materiais. Os efeitos marginais indicam também maior impacto nos acidentes com nível de severidade 2.

É possível que estes resultados sejam influenciados também pelo menor volume de registros de acidentes de qualquer nível de severidade envolvendo bicicletas. A menor amostragem desse tipo de ocorrência, e não só a discrepância entre registros de acidentes de severidades diferentes, pode gerar distorções para os resultados da modelagem. Além disso, a carência atual de infraestruturas cicloviárias pode influenciar uma tendência de ocorrência de mais acidentes severos com bicicletas. Essa ausência de locais adequados para a circulação segura de bicicletas faz com que ciclistas muitas vezes optem por utilizar faixas exclusivas de ônibus. Isso traz sérios riscos em segurança, pois os ciclistas podem não ser vistos pelos outros veículos e, devido ao diferencial de massa, um acidente com ônibus pode resultar em risco de alta severidade.

Os efeitos marginais da presença da variável *Chuva* indicam pequeno impacto em todos os níveis de severidade de acidentes totais. No nível de severidade 1, os dois modelos indicaram impacto positivo da presença de chuva, o que significa que, em dias chuvosos, há aumento de 5% na chance de acidentes com danos materiais tanto no modelo OL quanto no MNL. Isso pode estar relacionado a pequenas colisões ou acidentes em baixa velocidade que ocorram nessas condições. O nível de severidade 2, com vítimas feridas, teve impacto negativo nos dois modelos, com a redução do risco de um acidente resultar em vítimas feridas.

Houve uma divergência nos efeitos marginais do impacto no nível de severidade 3, referente a acidentes fatais. O modelo *Logit* Ordenado indica um efeito marginal negativo de 0,2% na presença de chuva, e o modelo Multinomial resultou em um impacto positivo de 0,2%. Ambas as explicações seriam plausíveis. Por um lado, a presença de chuva cria problemas de visibilidade e reduz a aderência dos veículos ao pavimento em caso de frenagem. Entretanto, a ocorrência de chuva pode gerar uma mudança de comportamento, na qual os condutores se tornam mais cautelosos e trafegam em velocidades mais baixas.

A variável *CompLink*, que se refere ao comprimento médio de quarteirões na região próxima à parada de ônibus, foi identificada como significativa apenas no modelo Multinomial. Os efeitos marginais dessa variável indicam que um acréscimo de 10% no comprimento médio de segmentos viários ininterruptos resulta em uma maior probabilidade de acidentes com danos materiais e acidentes com feridos e uma menor probabilidade de acidentes fatais.

Esse resultado conflita com o reportado por WRI (2015), que descreve, a partir de um estudo de caso em Guadalajara, no México, aumento de 10 metros na distância entre interseções resulta em redução no total de acidentes e aumento no risco de acidentes fatais e atropelamentos. Menores trechos de segmentos viários forçam os veículos a parar ou reduzir a velocidade periodicamente, o que contribui para a segurança.

O desnível médio viário, representado pela variável *DecliveAB*, apresentou impacto negativo no risco de um acidente resultar apenas em danos materiais. O impacto em acidentes com vítimas feridas foi positivo. O aumento no risco de acidentes com feridos e acidentes fatais pode estar relacionado à maior velocidade que veículos empregam em vias com declive, ou a possíveis reduções de visibilidade dos demais fluxos viários.

Em relação aos acidentes fatais, houve divergência nos resultados dos dois diferentes modelos. O modelo *Logit* Ordenado indica um aumento de 3% no risco de acidentes fatais a cada 10% de acréscimo no desnível médio viário. O modelo MNL apresenta uma redução de 2% no risco de acidentes fatais para essa mesma variação de desnível.

A variável *Dia*, que descreve se o acidente ocorreu entre 6h e 18h, apresentou impacto positivo no risco de acidentes apenas com danos materiais. No modelo *Logit* Ordenado, o fato do acidente acontecer durante o dia resultou em 11,8% no aumento de chance de resultar em dano material e, no modelo Multinomial, esse efeito foi de 12,3%. Apesar de terem diferentes grandezas, os dois resultados são de mesma natureza e significativos. Os níveis de severidade 2 e 3 têm menor chance de ocorrer caso os acidentes aconteçam durante o dia.

A maior concentração de acidentes leves durante o dia e menor probabilidade de acidentes com vítimas fatais ou feridas nesse período possivelmente está relacionada aos volumes de tráfego. Nos grandes centros urbanos, a dinâmica viária durante o período diurno demanda maior atenção dos condutores, principalmente próximo a sistemas prioritários para ônibus. Os veículos precisam fazer mais paradas e as velocidades de tráfego são, muitas vezes, inferiores às praticadas no período noturno. Há também maior movimentação de pedestres durante o dia.

Durante a noite, é mais comum que veículos desrespeitem semáforos ou realizem movimentos proibidos. Isso muitas vezes está relacionado a preocupações com segurança pública, e os condutores adotam ações do tipo para evitar exposição ao risco de assaltos ou outras violências durante a noite. As velocidades adotadas nas vias também tendem a ser superiores no período noturno, quando os volumes de tráfego são inferiores e as interações com outros usuários da via são menos frequentes.

De forma similar, a variável *Diautil*, que representa a ocorrência de um acidente entre segunda e sexta-feira, resultou em impacto positivo na probabilidade de um acidente resultar danos materiais. O modelo *Logit* Ordenado indica um impacto positivo de 6,8% nos acidentes com nível de severidade 1, e o modelo Multinomial resultou em impacto positivo de 5,1% para o mesmo nível.

Os níveis de severidade 2 e 3 têm uma redução de probabilidade em acidentes ocorridos entre segunda e sexta-feira, indicando que os acidentes com feridos e mortos têm mais chance de ocorrer nos finais de semana. As justificativas são similares aos resultados encontrados na variável *Dia*. Durante os dias úteis da semana, os volumes de tráfego são superiores, assim como as interações entre usuários da via. Estes são os dias de maior demanda e mais intensa operação dos sistemas prioritários para ônibus. Nos sábados e domingos, as condições de tráfego são similares às descritas para o período noturno. Os condutores praticam comportamentos mais agressivos e velocidades mais altas, que podem resultar em acidentes com vítimas.

A variável *FTravessia*, que representa a presença de faixa de travessia de pedestres, resultou em uma redução no risco de acidentes com danos materiais e aumento nos riscos de acidentes com feridos. Os modelos estimados divergiram no impacto de faixas de travessia de pedestres em acidentes fatais. O modelo *Logit* Ordenado indicou um aumento no risco de acidentes fatais. Já o modelo Multinomial identificou um menor risco de acidentes desse tipo. Ambos os impactos estimados resultaram em valores próximos de zero. Pour-Rouholamin e Zhou (2016) descrevem maior probabilidade de acidentes fatais em faixas de travessia de pedestres sem proteção semafórica. Essa característica não foi avaliada neste estudo.

As faixas de travessia de pedestres fornecem a estes usuários uma sensação de segurança. Muitos pedestres podem realizar a travessia da via nestes pontos com menor atenção, na expectativa de que condutores cedam prioridade de passagem. Isso é um problema nos casos em que as faixas de travessia de pedestres não são respeitadas pelos condutores. Isso pode aumentar os riscos de acidentes com vítimas, seja no caso de um atropelamento ou passageiros feridos devido a uma frenagem abrupta.

Entretanto, muitas vezes as faixas de travessia de pedestres são implantadas em locais com alta concentração de pedestres e maior incidência de atropelamentos graves. Dessa forma, ainda que o modelo indique correlação das faixas de travessia de pedestres com o aumento de acidentes fatais, é possível que as faixas não sejam causadoras dessas ocorrências, e sim elementos de mitigação dos riscos já existentes no local. É possível que, na ausência de faixas de travessia de pedestres, estes locais concentrassem ainda mais acidentes fatais.

Os resultados para a variável *IDiv* indicam que um uso diversificado do solo possivelmente resulta em mais acidentes de baixa severidade e contribui para a redução de acidentes fatais. Mohamed *et al.* (2013), Kashani, Rabieyan e Besharati (2014), entretanto, identificaram maior risco de acidentes severos em áreas com uso do solo mais diversificado.

A análise do modelo de severidade indica que um aumento de 10% no índice de diversidade aumenta em 3,7% o risco de um acidente resultar em danos materiais pelo modelo *Logit* Ordenado e em 0,5% pelo modelo Multinomial. Com esse mesmo acréscimo no índice de diversidade, os modelos apontam uma redução de 0,01% pelo modelo *Logit* Ordenado e de 0,1% pelo modelo Multinomial no risco de acidentes fatais. Ambos os modelos indicam a contribuição do uso do solo misto para reduzir o número de mortes em acidentes de trânsito.

O resultado do impacto da variável referente ao índice de diversidade para acidentes com nível de severidade 2 foi divergente entre os dois modelos. O impacto foi negativo, segundo o modelo *Logit* Ordenado, e positivo, segundo o modelo Multinomial. Ainda que contribua para reduzir o número de mortes em acidentes de trânsito, a diversidade no uso do solo pode aumentar a circulação de pedestres e resultar em maior número de conflitos entre diferentes usuários da via. Nesses casos, podem ocorrer acidentes com vítimas feridas (EWING; DUMBAUGH, 2009; MOHAMED *et al.*, 2013).

A variável *Maior65* representa a quantidade de pessoas acima de 65 anos na região analisada. A modelagem indicou aumento nas chances de ocorrência de acidentes apenas com danos materiais e uma redução nas chances de ocorrência de acidentes com vítimas feridas. O nível de severidade 3 teve resultado divergentes entre os dois modelos estimados. O modelo *Logit* Ordenado indicou uma pequena redução no risco de acidentes fatais, mas o modelo Multinomial indica um grande aumento no risco de um acidente fatal no entorno de paradas de ônibus de regiões com maior quantidade de residentes idosos. Abay (2013), Dumbaugh, Li e Joh (2013) e Pour-Rouholamin e Zhou (2016) encontraram resultados ao do modelo Multinomial desta dissertação, indicando maior risco de mortes relacionado a usuários da via idosos.

Abay (2013) também indica ter registrado maior probabilidade de acidentes fatais com pedestres acima de 60 anos. A justificativa atribuída a esse fenômeno é a menor resistência corporal de idosos diante de impactos do acidente. Os dados utilizados no presente estudo não incluíam dados da vítima. Portanto, não foi possível identificar no modelo o impacto do envolvimento direto de idosos no acidente ou de jovens, no caso da variável *Menor18*. Os dados utilizados são referentes à população residente na região dos *buffers*, e servem como

proxy para identificar a presença de população dessa faixa etária circulando nas vias de estudo, o que pode resultar em sua exposição a acidentes.

A variável *Menor18* teve um resultado distinto do encontrado para *Maior65*. A análise de resultados do modelo *Logit* Ordenado indicou que, em entornos de paradas de corredores exclusivos de ônibus, um aumento de 10% na presença de jovens menores de 18 anos resulta em um menor risco de acidentes com danos materiais, enquanto o modelo Multinomial indicou aumento no risco de acidentes resultarem em nível de severidade 1. Os acidentes com nível de severidade 2 têm maior risco de ocorrência. Esses resultados foram identificados de forma consistente tanto no modelo *Logit* Ordenado quanto no modelo Multinomial. O nível de severidade 3 também resultou em divergência, com um impacto positivo no modelo *Logit* Ordenado e um impacto negativo no modelo Multinomial.

Assim como os idosos, crianças e jovens são mais vulneráveis aos ferimentos decorrentes de acidentes de trânsito (ABAY, 2013; MOHAMED *et al.*, 2013). Em crianças e jovens, a estrutura corporal é mais frágil do que a de adultos e os processos cognitivos e comportamento diante do tráfego ainda não são consolidados. Por outro lado, crianças e jovens têm muitas vezes menos autonomia devido à sua limitação de entendimento da complexidade dos elementos de mobilidade urbana, o que pode indicar sua menor exposição ao risco de acidentes leves e sem lesões (MITRA; BULIUNG, 2014). Este é um dos casos, portanto, em que ambos os resultados seriam plausíveis.

A análise de dados referentes à variável *Moto* indica uma redução no risco de um acidente resultar em um nível de severidade 1. Esse resultado é consistente nos dois modelos, e pode indicar uma parcela subreportada de acidentes. Assim como os acidentes envolvendo bicicletas, é possível que acidentes envolvendo motocicletas que não resultem em vítimas não sejam registrados.

Os acidentes resultando em nível de severidade 2 sofrem um aumento de probabilidade com o envolvimento de motocicletas no acidente. Isso está de acordo com uma das principais realidades do uso de motocicletas no Brasil, de acidentes com vítimas graves, mas sem resultar em óbitos. Os usuários de motocicleta correspondem a 76% das vítimas que solicitam indenizações em acidentes de trânsito. Destas solicitações, 76% eram referentes a lesões permanentes no país (DPVAT, 2016). Os efeitos do envolvimento de motocicletas em acidentes de nível de severidade 3 foram positivos no modelo *Logit* Ordenado e negativos no modelo Multinomial. Entretanto, o risco de óbitos relacionado ao uso de motocicletas é bem documentado (VASCONCELLOS, 2013).

A variável *Onibus* está relacionada a uma menor probabilidade de acidentes com nível de severidade 1. Os acidentes com danos materiais resultam em prejuízos às empresas. Muitas companhias de operação de sistemas prioritários para ônibus aplicam treinamentos de direção defensiva e regras para os motoristas profissionais para tentar evitar esse tipo de acidente, reduzindo os gastos com manutenção de frota (FABBRIN e NODARI, 2016).

Os níveis de severidade 2 e 3 são mais prováveis caso o acidente envolva ônibus. Embora esses veículos não se envolvam em grande número de ocorrências, os acidentes que ocorrem podem resultar em feridos e vítimas fatais. Além de transportarem grande número de passageiros ao mesmo tempo, os ônibus possuem uma massa que dificulta movimentos abruptos de frenagem e provoca grande impacto. Abay (2013) e Duduta *et al.* (2012) indicam que os passageiros de ônibus estão mais seguros em comparação a outros usuários da via externos ao veículo que se envolvam no acidente.

A variável *P4aprox*, que representa o percentual de interseções com quatro aproximações no *buffer*, resultou em impacto negativo para o nível de severidade 1 nos dois modelos estimados. A maior complexidade desse tipo de interseção, entretanto, poderia indicar empiricamente maior número de acidentes com danos materiais. O nível de severidade 2 teve um aumento nas situações em que o número de interseções com quatro aproximações em relação ao total de interseções da área de estudo recebia um incremento de 10%. Esse resultado pode refletir as políticas de priorização dos sistemas de ônibus, como fases semafóricas específicas ou proibição de movimentos.

O modelo *Logit* Ordenado resultou em impacto positivo no risco de um acidente resultar em vítimas fatais em áreas com maior número de interseções com quatro aproximações. O Modelo Multinomial indicou uma redução na probabilidade de acidentes com esse nível de severidade. Lovegrove e Sayed (2006) afirmam que interseções de quatro aproximações são mais inseguras do que interseções mais simples. Observa-se que as interseções de quatro aproximações, com fluxo intenso de veículos e mais suscetíveis à ocorrência de acidentes, muitas vezes recebem controle semafórico para gerenciar os conflitos, o que pode mitigar os riscos desses locais.

A variável *PArteriais* foi significativa apenas no modelo Multinomial. Um acréscimo de 10% no número de vias arteriais em relação ao número total de vias dentro do *buffer* de análise resultou em aumento na probabilidade de acidentes com danos materiais ou vítimas fatais de 4 e 0,1%, respectivamente. Os acidentes com vítimas feridas apresentaram uma redução de probabilidade de 4%. Diferentes estudos na literatura documentam maior risco de

acidentes severos em vias arteriais (ABAY, 2013; DUMBAUGH; LI; JOH, 2013; FUENTES; HERNANDEZ, 2013; WIER *et al.*, 2009; ZAHABI *et al.*, 2011).

A parcela de vias arteriais do *buffer* foi utilizada como *proxy* de velocidade, visto que os limites de velocidade das vias não estavam disponíveis para análise. A classificação viária é um importante preditor dos limites de velocidade, já que o Código de Trânsito Brasileiro sugere 60 km/h para vias arteriais. Velocidades estão diretamente relacionadas à severidade de acidentes, em especial no caso de acidentes com usuários vulneráveis da via (WHO, 2015; ABAY, 2013).

O percentual de domínio viário (extensão de vias) com calçada, representado pela variável *PCalcada*, resultou em impacto negativo para a ocorrência de acidentes com danos materiais. Um incremento de 10% no percentual de vias com calçadas dentro do *buffer* se relacionou com 5,9% menos chance de acidentes com nível de severidade 1 no modelo *Logit* Ordenado e 4,8% menos chance no modelo Multinomial. Isso pode estar relacionado à segregação de usuários da via com a existência de infraestrutura adequada para pedestres, o que reduz os conflitos na via e pode evitar acidentes leves.

Os acidentes com nível de severidade 2 apresentaram um acréscimo de probabilidade nos dois modelos estimados para o aumento de 10% no percentual viário com calçadas. Ainda que a infraestrutura para pedestres reduza os conflitos, é possível que estas vias se tornem mais convidativas aos deslocamentos a pé, o que pode aumentar o risco de acidentes envolvendo pedestres e resultando em vítimas. Os acidentes com nível de severidade 3 tiveram resultados divergentes entre os dois modelos. O modelo *Logit* Ordenado indica um pequeno aumento na probabilidade de um acidente resultar em vítimas fatais, e o modelo Multinomial indica uma redução no risco desse tipo de acidente ocorrer. Stevens e Salmon (2014) indicam a importância de garantir infraestruturas de qualidade para calçadas, para que estas atendam ao seu propósito de segurança.

A análise da variável *Renda* indicou um aumento na probabilidade de acidentes com nível de severidade 1 diante de um acréscimo de 10% na renda média do *buffer*. Conforme descrito na análise dos resultados do modelo de severidade, um aumento na renda pode contribuir para o aumento de veículos motorizados. Nesse caso, é possível que ocorram mais acidentes leves, com o aumento da quilometragem percorrida na região. Similarmente, Marshall e Garrick (2011) e McArthur, Savolainen e Gates (2014) encontraram resultados que indicam maior risco de acidentes em áreas com renda inferior. Muitas vezes os investimentos em infraestrutura de qualidade para pedestres, quando existentes, são concentrados em áreas de maior renda nas cidades brasileiras. Áreas de renda mais baixa carecem muitas vezes de

condições mínimas de segurança para pedestres, como calçadas segregadas e pavimentadas ou faixas de travessia de pedestres sinalizadas nas rotas de acesso ao transporte coletivo.

O resultado do aumento de renda no nível de severidade 2 foi negativo para os dois modelos estimados. Isso indica uma parcela menor de acidentes com vítimas feridas em locais com renda mais alta. Entende-se que esse resultado esteja diretamente relacionado à intensidade de uso do transporte coletivo em relação à renda média de cada região. É provável que locais com maior renda média tenham maior parcela de deslocamentos diários por modos motorizados individuais. Locais com menor renda média podem ter maior número de pessoas dependentes ou usuárias do transporte coletivo. Isso resulta em maior número de pessoas precisando atravessar a via para acessar os sistemas prioritários para ônibus em corredores centrais em regiões com renda média inferior. Portanto, há maior exposição ao risco de atropelamentos nesses locais (FORBES; HABIB, 2015). Os resultados para o nível de severidade 3 não foram consistentes entre os modelos estimados. O modelo *Logit* Ordenado indica uma redução de acidentes fatais, e o modelo Multinomial resulta em um aumento no risco de um acidente causar vítimas fatais.

O acréscimo de semáforos na área de estudo, representada pela variável *Semaforos*, resultou em menor risco de acidentes com danos materiais. Na análise da variável *AcIntersecao*, os semáforos contribuem para o gerenciamento de pontos complexos de conflito entre diferentes fluxos de tráfego. Como resultado, acidentes de baixa severidade são evitados.

Nesses locais, infrações ou desrespeito ao controle semafórico podem causar acidentes com vítima. Os acidentes com nível de severidade 2 apresentaram maior probabilidade de ocorrência nos dois modelos estimados. O nível de severidade 3 teve resultados divergentes nos dois modelos. O modelo *Logit* Ordenado indicou pequeno aumento no risco de acidentes fatais, e o modelo Multinomial resultou em uma redução no risco de acidentes com esse nível de severidade.

O Quadro 4 sintetiza os impactos de cada uma das variáveis significativas na severidade de acidentes. O símbolo “+” indica aumento na probabilidade de acidentes resultarem em determinado nível de severidade relacionado a um incremento na variável. Similarmente, “-” indica redução na probabilidade de determinado nível de severidade. Os resultados obtidos para os modelos OL e MNL foram muito mais divergentes no nível de severidade 3, referente aos acidentes fatais. Isso possivelmente se relaciona com o número de registros de acidentes fatais na base de dados utilizada, muito menor em relação aos demais níveis de severidade analisados. A amostra reduzida pode ter impactado os resultados da

estimação, criando divergência entre mais variáveis no nível de severidade 3 entre os dois modelos estimados.

Quadro 4: Resumo de impactos de variáveis de severidade de acidentes

Variável	Efeito marginal. (Sev1)		Efeito marginal. (Sev2)		Efeito marginal. (Sev3)	
	OL	MNL	OL	MNL	OL	MNL
<i>AcIntersecao</i>	+	+	-	-	-	-
<i>Auto</i>	+	+	-	-	-	-
<i>Bicicleta</i>	-	-	+	+	+	+
<i>Chuva</i>	+	+	-	-	-	+
<i>CompLink</i>	N/D	+	N/D	+	N/D	-
<i>DecliveAB</i>	-	-	+	+	+	-
<i>Dia</i>	+	+	-	-	-	-
<i>Diautil</i>	+	-	-	-	-	-
<i>FTravessia</i>	-	-	+	+	+	-
<i>IDiv</i>	+	+	-	+	-	-
<i>Maior65</i>	+	+	-	-	-	+
<i>Menor18</i>	-	+	+	+	+	-
<i>Moto</i>	-	-	+	+	+	-
<i>Onibus</i>	-	-	+	+	+	+
<i>P4aprox</i>	-	-	+	+	+	-
<i>PARteriais</i>	N/D	+	N/D	-	N/D	+
<i>PCalcada</i>	-	-	+	+	+	-
<i>Renda</i>	+	+	-	-	-	+
<i>Semaforos</i>	-	-	+	+	+	-

(fonte: elaborado pela autora)

N/D- Valor não disponível

6.4 MODELO DE SEVERIDADE DE ATROPELAMENTOS

A severidade dos atropelamentos foi estimada a partir do modelo *Logit* Multinomial. O modelo *Logit* Ordenado resultou em erro na aplicação para o caso específico de atropelamentos, devido à ausência de intervalos suficientes para a estimação. A estimação de modelos de severidade para atropelamentos foi realizada com duas categorias, nível de severidade 2 (vítimas feridas) e nível de severidade 3 (vítimas fatais), pois não houve registros de atropelamentos apenas com danos materiais. Os dados de atropelamentos registrados nos *buffers* indicam vítimas feridas ou fatais, e não foram identificados atropelamentos resultando

em danos materiais. Este problema é superado no modelo Multinomial, no qual os intervalos das categorias têm maior flexibilidade de variação.

No total, foram identificadas oito variáveis significativas na severidade de atropelamentos: *Auto*, *FTravessia*, *IDiv*, *Menor18*, *Moto*, *P4Aprox*, *PCalcada* e *Semaforos*. Os valores absolutos obtidos referentes ao efeito marginal destas variáveis foram distintos dos valores encontrados para estas mesmas variáveis na estimação do modelo Multinomial para acidentes totais. Entretanto, o impacto geral, positivo ou negativo, foi similar nas duas estimações para cada variável.

A variável *Auto* apresentou efeito positivo nos atropelamentos com nível de severidade 2 e efeito negativo nos atropelamentos com nível de severidade 3. Isso significa que há maior probabilidade de atropelamentos com automóvel resulte em vítimas feridas, mas menor probabilidade de atropelamentos envolvendo automóveis resultarem em vítimas fatais. É provável que o grande volume de pedestres e veículos trafegando em vias troncais, onde são implementados grande parte dos corredores exclusivos para ônibus, resulte em maior número de conflitos, o que resulta em maior número de feridos em atropelamentos.

Entretanto, esses volumes, além de outras possíveis técnicas de gestão de tráfego e segurança que são aplicadas em locais com maior risco de acidentes, fazem com que as velocidades dos automóveis sejam menores nas áreas de conflito. Com isso, o risco de um atropelamento resultar em vítimas fatais é reduzido.

A presença de faixas de travessia de pedestres, representadas pela variável *FTravessia*, resultou em impacto negativo para atropelamentos com nível de severidade 2. As faixas de travessia são um importante elemento para indicar a prioridade aos pedestres e aumentar a segurança destes ao realizarem travessia da via.

Entretanto, o modelo indicou um aumento na probabilidade de um atropelamento resultar em vítimas fatais quando há a presença de faixa de pedestres. Esse resultado é conflitante com os descritos por Kim *et al.* (2008), Mohamed *et al.* (2013) e Pour-Rouholamin e Zhou (2016). Mohamed *et al.* (2013) identificaram maior risco de atropelamentos fatais em faixas de travessia sem semáforos. Não foi possível identificar se as faixas de travessia de pedestres avaliadas nesse estudo estavam acompanhadas de semáforos.

É importante avaliar o local onde as faixas de travessia são instaladas. Muitas vezes, esses locais são definidos com base no maior risco que representam aos pedestres ou no significativo volume de travessias. As faixas de travessia podem apresentar correlação com maior número de atropelamentos fatais devido a sua utilização nesses pontos críticos, ainda que não apresentem relação causal com atropelamentos fatais. As faixas de travessia de

pedestres são instaladas em vias onde há maior risco aos pedestres e, em muitos casos, maior risco de atropelamentos graves. Caso não fossem oferecidas faixas de travessia de pedestres nesses locais, é possível que houvesse um maior número de atropelamentos fatais. Lord e Mannering (2010) e Mannering e Bhat (2014) descrevem fenômeno semelhante com a correlação entre placas indicativas de perigo de gelo na pista e locais com grande incidência de acidentes. Tais autores destacam que isso se dá pelo fato de placas deste tipo serem empregadas em regiões com grande risco de acidentes, não sendo elas as responsáveis pelos acidentes, mas sim o motivo pelo qual elas estejam presentes nesses locais.

A variável *IDiv* resultou em maior probabilidade de atropelamentos resultando em nível de severidade 2. Regiões com maior diversidade de uso do solo influenciam a caminhabilidade, o que aumenta o número de pedestres circulando e, por consequência, a exposição destes ao tráfego (EWING; DUMBAUGH, 2009; LARRAÑAGA *et al.*, 2016). É esperado que locais com maiores concentrações de pedestres resultem em maior número de atropelamentos.

A diversidade de uso do solo resultou em menor risco de atropelamentos fatais. Ainda que seja esperado maior número de conflitos com pedestres nas áreas com maior predominância de uso misto do solo, essas regiões muitas vezes incentivam velocidades mais baixas, o que contribui significativamente para a redução no risco de mortes em caso de um atropelamento.

A variável *Menor18* apresentou efeito positivo na probabilidade de um atropelamento resultar em nível de severidade 2. Crianças e jovens apresentam maior fragilidade corporal, e, portanto, estão mais propensos à ocorrência de ferimentos no caso de um atropelamento. O mesmo resultado foi encontrado por Pour-Rouholamin e Zhou (2016).

Por outro lado, o nível de severidade 3 é menos provável com o aumento de pedestres com até 18 anos na região de estudo. Isso pode estar relacionado à menor autonomia de crianças e jovens. Ao se deslocarem, muitas vezes menores de 18 anos são acompanhados de pais ou responsáveis, que podem influenciar um comportamento no trânsito mais contido e com menor exposição ao risco de atropelamentos graves e que possam resultar em morte.

A variável *Moto* resultou em impacto positivo para atropelamentos com nível de severidade 2. Os atropelamentos envolvendo motocicletas são comuns em áreas urbanas, em especial em condições de congestionamento, quando as motocicletas seguem em altas velocidades entre os demais veículos e podem surpreender pedestres realizando travessia.

O nível de severidade 3 teve uma redução de probabilidade na ocorrência de um atropelamento envolvendo motocicletas. As motocicletas possuem uma massa relativamente

pequena, o que pode minimizar ferimentos causados pelo veículo no caso de um atropelamento. Apesar de trafegarem em altas velocidades, o que impacta a severidade, as motocicletas possibilitam manobras abruptas e desvios e podem contribuir para evitar atropelamentos fatais em altas velocidades.

A estimação da variável *P4Aprox* indicou maior risco de atropelamentos resultarem em nível de severidade 2. Essas interseções apresentam grande complexidade e muitas vezes forçam os pedestres a realizar longos desvios para realizar travessias seguras. Com isso, muitos pedestres se arriscam e realizam travessias fora dos locais sinalizados, o que pode contribuir para um aumento nos atropelamentos. Além disso, o grande número de fluxos de tráfego pode criar condições ambíguas para os pedestres, nas quais estes não sabem de que lado devem observar o fluxo veicular para realizar a travessia.

O efeito do incremento na parcela de interseções com 4 aproximações em uma determinada região foi negativo. A redução na probabilidade de atropelamentos fatais em locais com essa configuração pode estar relacionada a ações de gerenciamento de conflito de tráfego que reduzam a chance de interpretações equivocadas dos pedestres para atravessar a via, como sentidos de fluxo esperados em cada faixa de tráfego. O controle semafórico e a sinalização reforçada, por exemplo, podem organizar o tráfego de pessoas e veículos, melhorando a visibilidade e o respeito entre os usuários da via e reduzindo o risco de atropelamentos fatais.

O percentual de calçadas na extensão de malha viária, *PCalcada* resultou em impacto negativo na probabilidade de atropelamentos resultarem em vítimas feridas e em impacto positivo no risco de atropelamentos fatais. A presença de calçadas oferece, de forma geral, melhores condições de segurança aos pedestres, com maior distanciamento dos veículos motorizados.

Por outro lado, o incremento no percentual viário com calçadas pode indicar uma maior demanda de pedestres para a região. As calçadas podem contribuir também para incentivar a caminhabilidade, o que aumenta a exposição de pedestres e pode influenciar no aumento de atropelamentos fatais.

O aumento de semáforos em uma determinada região, indicado pela variável *Semaforos*, apresentou impacto positivo no risco de um atropelamento resultar em nível de severidade 2 e impacto negativo no nível de severidade 3. De forma similar à variável *P4Aprox*, os semáforos são um indicativo de maior complexidade de movimentos, o que pode aumentar o número de conflitos entre usuários da via e, como consequência, o risco de atropelamentos com vítimas feridas. Ao mesmo tempo, semáforos representam um importante

elemento de gestão de conflitos de tráfego, o que contribui para reduzir a probabilidade de um atropelamento resultar em vítimas fatais.

O Quadro 5 sintetiza os efeitos marginais identificados para cada uma das variáveis significativas no modelo de severidade *Logit* Multinomial para atropelamentos.

Quadro 5: Resumo de impactos das variáveis significativas no modelo de severidade de atropelamentos

	Ef. Marg. 2		Ef. Marg. 3	
	Atropelamentos	Acidentes totais	Atropelamentos	Acidentes totais
<i>Auto</i>	+	-	-	-
<i>FTravessia</i>	-	+	+	-
<i>IDiv</i>	+	+	-	-
<i>Menor18</i>	+	+	-	-
<i>Moto</i>	+	+	-	-
<i>P4Aprox</i>	+	+	-	-
<i>PCalcada</i>	-	+	+	-
<i>Semaforo</i>	+	+	-	-

(fonte: elaborado pela autora)

Os resultados dos efeitos marginais do modelo de severidade MNL para acidentes totais e atropelamentos foram bastante semelhantes. O envolvimento de um automóvel no acidente resultou em aumento de probabilidade de um atropelamento resultar em vítimas feridas e uma redução na probabilidade de acidentes em geral com esse nível de severidade. Isso possivelmente está relacionado à maior proteção oferecida aos passageiros em relação aos usuários da via no exterior do veículo. Em relação à presença de faixas de travessia de pedestres, indicado pela variável *FTravessia*, a severidade de atropelamentos e acidentes divergiu tanto nos acidentes com vítimas feridas quanto nos com vítimas fatais. Os impactos relacionados à variável *PCalcada* também divergiram em relação a atropelamentos e a acidentes em geral. Vias com calçadas se tornam mais atrativas para pedestres, o que resulta em maior exposição. Por outro lado, as calçadas podem contribuir para a segurança ao segregar os usuários da via em vias com velocidades mais altas, reduzindo conflitos.

6.5 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELOS DE SEVERIDADE PARA ACIDENTES TOTAIS

A estimação dos modelos *Logit* Ordenado e Multinomial resultou em número muito similar e variáveis identificadas como significativas. Foram identificadas 17 variáveis significativas no modelo OL e 19 no modelo MNL. Além disso, observou-se que todas as

variáveis resultantes do modelo OL foram comuns ao MNL, que identificou duas variáveis a mais como significativas. Isso indica consistência entre as significâncias das variáveis resultantes, com grande parte comum aos resultados dos dois modelos. A lista final de variáveis dos modelos estimados nesse estudo é apresentada no Quadro 6.

Quadro 6: Lista final de variáveis significativas nos modelos de frequência e severidade de acidentes no entorno de pontos de parada de ônibus

Modelo	Variáveis significativas
Frequência de acidentes	<i>Moto e AcIntersecao</i>
Frequência de atropelamentos	<i>Ônibus, Moto e IDiv</i>
Severidade de acidentes	<i>AcIntersecao, Auto, Bicicleta, Chuva, CompLink*, DecliveAB, Dia, Diautil, FTravessia, IDiv, Maior65, Menor18, Moto, Onibus, P4Aprox, PArteriais*, PCalcada, Renda e Semaforos</i>
Severidade de atropelamentos	<i>Auto, FTravessia, IDiv, Menor18, Moto, P4aprox, PCalcada e Semaforos</i>

* Variáveis significativas na severidade apenas no modelo *Logit* Multinomial.

(fonte: elaborado pela autora)

Em relação ao ajuste geral do modelo, representado pelo Pseudo-R², os dois modelos obtiveram valores semelhantes, com pequena vantagem do modelo MNL, conforme apresentado na Tabela 20. Os valores Pseudo-R² obtidos nos dois modelos foram satisfatórios. Quanto mais próximo de 1, maior é a qualidade de ajuste geral do modelo. Ortúzar e Willumsen (2011) indicam como bons valores resultados a partir de 0,4.

O melhor ajuste de modelo segundo os critérios AIC e BIC é indicado pelo menor valor calculado em cada um dos critérios em ambos os modelos, conforme valores indicados na Tabela 20. Tanto o critério BIC quando o critério AIC indicaram uma pequena vantagem do modelo *Logit* Multinomial sobre o Ordenado. Uma análise empírica dos resultados indica que os efeitos marginais do modelo MNL também demonstram maior adequação desse modelo ao conjunto de dados analisado, com impactos (positivos ou negativos) mais consistentes com o esperado e registrado na literatura do que o modelo OL.

Tabela 20: Valores de ajuste dos modelos de severidade OL e MNL

	OL	MNL
Log-likelihood	-3.927,904	-3.854,382
Pseudo-R ²	0,625	0,631
AIC	7893,81	7762,76
BIC	8030	7956,3

(fonte: elaborado pela autora)

7 CONCLUSÕES E SUGESTOES PARA TRABALHOS FUTUROS

O transporte coletivo cumpre um importante papel na mobilidade urbana dos centros urbanos. Além de contribuir com o deslocamento de grande parcela da população, os sistemas de transporte coletivo têm o potencial de melhorar as condições de segurança no trânsito, em especial de pedestres e ciclistas.

A segurança proporcionada por sistemas prioritários para ônibus está relacionada, entre outros elementos, à forma como a infraestrutura viária é planejada e a estrutura urbana é composta. Por esse motivo, este trabalho teve como objetivo verificar a existência de relação entre elementos de infraestrutura e de uso do solo com a ocorrência e severidade de acidentes viários no entorno de pontos de parada em sistemas prioritários para ônibus. Para isso, foram definidos três objetivos específicos:

(i) identificar fatores de risco em segurança viária já documentados na literatura:

Para atender a esse objetivo específico, realizou-se uma revisão de literatura acerca dos impactos de elementos de infraestrutura viária, estrutura urbana e características socioeconômicas na segurança dos usuários da via, em especial usuários vulneráveis (pedestres e ciclistas). Após a revisão de literatura, foi possível identificar elementos relevantes ao propósito desse estudo.

Com base nos elementos identificados após o cumprimento do objetivo específico anterior, realizou-se um levantamento de disponibilidade de dados para o ambiente de estudo, o sistema prioritário para ônibus em corredor central na cidade de Porto Alegre. Para isso, foram obtidos dados de fontes oficiais e, na ausência destes, coletados dados referentes aos elementos foco de estudo. Como resultado, elaborou-se uma lista com 30 potenciais variáveis de influência na segurança viária no entorno de pontos de parada de sistemas prioritários para ônibus em corredor central.

(ii) estimar a influência dos fatores de risco identificados na ocorrência e severidade de acidentes viários no entorno de pontos de parada de ônibus.

Para a estimação do impacto das potenciais variáveis indicadas, aplicou-se à base de dados desenvolvida: (a) análises de correlação; (b) modelo de frequência de acidentes (regressão Binomial Negativa); (c) modelo de severidade de acidentes (*Logit* Ordenado e Multinomial); (d) cálculo dos efeitos marginais; (e) análise comparativa dos dois modelos de

severidade. Como resultado, identificou-se variáveis significativas para a frequência e para a severidade de acidentes em geral e atropelamentos, conforme sintetizado no Quadro 7.

Quadro 7: Síntese das variáveis significativas nos modelos de frequência e severidade de acidentes no entorno de pontos de parada de ônibus

Modelo	Variáveis significativas	Descrição
Frequência de acidentes	<i>Moto</i>	Registro de envolvimento de pelo menos uma motocicleta no momento do acidente.
	<i>AcIntersecao</i>	Registro do acidente indica ocorrência em meio de quadra ou em interseção.
Frequência de atropelamentos	<i>Onibus</i>	Registro de envolvimento de ônibus urbanos ou metropolitanos no acidente.
	<i>Moto</i>	Registro de envolvimento de pelo menos uma motocicleta no momento do acidente.
	<i>IDiv</i>	Ponderação de uso do solo, considerando número de escolas, domicílios, comércios, serviços e indústrias.
Severidade de acidentes	<i>AcIntersecao</i>	Registro do acidente indica ocorrência em meio de quadra ou em interseção.
	<i>Auto</i>	Registro de envolvimento de veículos motorizados privados (passeio e/ou táxis).
	<i>Bicicleta</i>	Registro de envolvimento de pelo menos uma bicicleta no momento do acidente.
	<i>Chuva</i>	Registro de condição climática com chuva no momento do acidente.
	<i>CompLink*</i>	Média entre os comprimentos dos trechos viários dentro de cada <i>buffer</i> .
	<i>DecliveAB</i>	Desnível médio das vias inclusas no <i>buffer</i> .
	<i>Dia</i>	Valor 1 quando ocorrência do acidente foi registrada entre 06:00 e 18:00.
	<i>Diautil</i>	Valor 1 quando os acidentes ocorriam entre segunda e sexta-feira e valor 0 quando ocorriam sábado ou domingo.
	<i>FTravessia</i>	Presença de faixa de travessia de pedestres ao longo de todas as faixas de tráfego da via.
	<i>IDiv</i>	Ponderação de uso do solo, considerando número de escolas, domicílios, comércios, serviços e indústrias.
	<i>Maior65</i>	Número de habitantes de cada <i>buffer</i> com idade superior a 65 anos.
	<i>Menor18</i>	Número de habitantes de cada <i>buffer</i> com idade inferior a 18 anos.
	<i>Moto</i>	Registro de envolvimento de pelo menos uma motocicleta no momento do acidente.
	<i>Onibus</i>	Registro de envolvimento de ônibus urbanos ou metropolitanos no acidente.
	<i>P4Aprox</i>	Proporção de interseções com 4 aproximações sobre o total de interseções em cada <i>buffer</i> .
	<i>PArteriais*</i>	Proporção de trechos viários classificados como arteriais sobre o total de extensão viária em cada <i>buffer</i> .
	<i>PCalcada</i>	Percentual de domínio viário incluindo infraestruturas para pedestres dentro de cada <i>buffer</i> .
<i>Renda</i>	Valor médio mensal de renda no conjunto de domicílios dentro de cada <i>buffer</i> .	
<i>Semaforos</i>	Presença de pelo menos um semáforo no <i>buffer</i> .	

(continua)

Modelo	Variáveis significativas	Descrição
		(conclusão)
Severidade de atropelamentos	<i>Auto</i>	Registro de envolvimento de veículos motorizados privados (passeio e/ou táxis).
	<i>FTravessia</i>	Presença de faixa de travessia de pedestres ao longo de todas as faixas de tráfego da via.
	<i>IDiv</i>	Ponderação de uso do solo, considerando número de escolas, domicílios, comércios, serviços e indústrias.
	<i>Menor18</i>	Número de habitantes de cada <i>buffer</i> com idade inferior a 18 anos.
	<i>Moto</i>	Registro de envolvimento de pelo menos uma motocicleta no momento do acidente.
	<i>P4aprox</i>	Proporção de interseções com 4 aproximações sobre o total de interseções em cada <i>buffer</i> .
	<i>PCalcada</i>	Percentual de domínio viário incluindo infraestruturas para pedestres dentro de cada <i>buffer</i> .
	<i>Semaforos</i>	Presença de pelo menos um semáforo no <i>buffer</i> .

* variáveis significativas apenas no modelo *Logit* Multinomial

(fonte: elaborado pela autora)

Atendendo ao objetivo geral desta dissertação, foram discutidas as relações entre elementos do ambiente construído com a frequência e severidade de acidentes viários no entorno de pontos de parada em sistemas prioritários para ônibus. Os modelos de frequência de acidentes totais e atropelamentos resultaram em duas e três variáveis significativas, respectivamente, e os modelos de severidade de acidentes totais e atropelamentos em 19 e oito variáveis significativas, respectivamente. No modelo de frequência de acidentes e atropelamentos, as variáveis mais significativas foram, respectivamente, *Moto* e *IDiv*. *Moto* teve o maior efeito marginal entre as variáveis significativas nas duas estimativas. *IDiv* teve impacto igualmente alto no modelo de frequência de atropelamentos.

No modelo de severidade, *DecliveAB* e *Bicicleta* tiveram o impacto mais significativo na probabilidade de um acidente resultar em danos materiais. *Auto* e *AcIntersecao* resultaram nas maiores probabilidades de aumento desse nível de severidade. *Bicicleta*, *DecliveAB* e *Moto* geraram os maiores aumentos na probabilidade de um acidente resultar no nível de severidade 2, referente a acidentes com vítimas feridas. No nível de severidade 3, com vítimas fatais, as variáveis *Bicicleta* e *Moto* representaram os maiores valores em termos absolutos, mas identificou-se um aumento de probabilidade no modelo *Logit* Ordenado e redução no *Logit* Multinomial.

O modelo de severidade de atropelamentos apresentou efeitos marginais semelhantes entre todas as variáveis significativas. Em números absolutos, houve um pequeno destaque para as variáveis *IDiv* e *PCalcada*. *IDiv* resultou em maior probabilidade de atropelamentos resultando em vítimas e menor probabilidade de atropelamentos fatais. *PCalcada* obteve o

resultado oposto: redução na probabilidade de atropelamentos com vítimas feridas e redução na probabilidade de atropelamentos fatais.

- (iii) comparar as estruturas dos modelos econométricos estimados para a severidade de acidentes de trânsito.

Em relação aos modelos de severidade estimados, os testes de ajuste realizados indicaram grande semelhança entre o *Logit* Ordenado e o Multinomial, com pequena vantagem do segundo. Sugere-se, em estudos futuros, avaliar a qualidade de ajuste de outros modelos ordenados e não-ordenados, buscando a melhor adequação aos dados estudados. Embora os critérios tenham indicado ajuste levemente superior do MNL, essa diferença não foi o suficiente para afirmar de forma definitiva a escolha deste modelo como mais adequado para avaliar a severidade.

Entretanto, foi possível observar limitações do modelo *Logit* Ordenado reportadas na literatura, como as restrições em relação às probabilidades em seus limites inferior e superior. A variável *P4aprox*, por exemplo, resultou no modelo *Logit* Ordenado em uma redução na probabilidade de acidentes resultarem em acidentes com danos materiais, mas aumento na probabilidade de acidentes fatais. No modelo *Logit* Multinomial, a variável impactou em uma redução a probabilidade de acidentes fatais. Entende-se que, neste caso, o modelo MNL esteja mais adequado, devido às velocidades mais baixas de tráfego diante de interseções com maior complexidade. O modelo OL não foi capaz de identificar uma redução nas probabilidades de acidentes com danos materiais e com vítimas fatais simultaneamente, e esta restrição foi superada no modelo MNL.

É importante também ressaltar que os modelos aqui estimados resultaram em informações referentes à prevalência de fatores contribuintes para a frequência e severidade no entorno de pontos de paradas de ônibus. Isso não equivale à análise de relações de causa e efeito dos elementos de ambiente construído analisados na acidentalidade, o que exigiria análises adicionais.

Algumas das variáveis também requerem mais investigação, por não apresentarem consenso entre os modelos de severidade estimados. Em relação a acidentes fatais, nove variáveis foram divergentes entre o modelo *Logit* Ordenado e o *Logit* Multinomial: *Chuva*, *DecliveAB*, *FTravessia*, *Maior65*, *Menor18*, *Moto*, *P4aprox*, *PCalcada* e *Semaforo*. Os impactos de algumas delas, como *Chuva*, *FTravessia* e *PCalcada*, são relacionados na literatura a variáveis adicionais, como comportamento dos usuários da via ou presença de elementos de infraestrutura complementares.

Em estudos futuros, sugere-se avaliar o entorno de sistemas prioritários para ônibus em configurações distintas, como faixas à direita e corredores em contrafluxo. Propõe-se também avaliar diferentes raios de abrangência e outros critérios de formação de *buffers* para coleta de dados. Sugere-se ainda avaliar cenários de alteração no ambiente construído e na infraestrutura viária com o propósito de propor solução à problemática de segurança no entorno de sistemas prioritários para ônibus aqui apresentada. Uma análise importante para verificar o impacto direto dos pontos de parada de corredores de ônibus seria a avaliação das mesmas variáveis antes e depois da implantação das infraestruturas. Alternativamente, sugere-se estudos comparativos de vias com características socioeconômicas e de ambiente construído semelhantes com e sem sistemas prioritários para ônibus. Isso possibilitaria destacar o real impacto desses sistemas em relação a cada uma das variáveis de estudo.

De forma geral, este estudo indicou que um cenário seguro no entorno de pontos de parada de ônibus inclui a presença de interseções a pequenas distâncias umas das outras, grande diversidade no uso do solo no entorno dos sistemas prioritários e pouca circulação de motocicletas. Embora ônibus e bicicletas tenham se relacionado a maior severidade de acidentes, ressalta-se que elementos adicionais de infraestrutura e características de desenho viário podem contribuir com a segurança relacionada a estes modos de transporte. O período diurno e dias úteis são também mais seguros para a operação do transporte coletivo. A presença de chuva também indica ser benéfica à segurança em corredores de ônibus, ao tornar os condutores mais cautelosos. Em relação especificamente a atropelamentos, um ambiente com uso do solo diversificado, fluxos de modos de transporte diversificados e gestão de tráfego adequada contribuem para reduzir o número de mortes no trânsito.

As variáveis presentes em mais de um modelo, como *Moto*, *Auto*, *IDiv* e *AcIntersecao*, indicam grande influência desses elementos na frequência e severidade de acidentes no entorno de pontos de parada de ônibus. Essas variáveis influenciaram em resultados tanto de frequência quanto de severidade de acidentes. Portanto, é importante que sejam consideradas cuidadosamente na gestão urbana, de forma a garantir a segurança de pedestres nessas áreas.

Entre as ações possíveis para reduzir o número de acidentes, destaca-se o incentivo a modos de transporte mais seguros, como o transporte coletivo, e o gerenciamento de conflitos através de ferramentas como controle semafórico adequado. Em relação à severidade de acidentes, em especial de pedestres, é muito importante que o poder público ofereça opções qualificadas de infraestrutura, como calçadas e acessos seguros ao transporte coletivo. Além disso, é muito importante avaliar estratégias e planos de uso misto do solo em áreas urbanas e garantir velocidades dos veículos compatíveis com as fragilidades humanas.

REFERÊNCIAS

- ABAY, K. A. Examining pedestrian-injury severity using alternative disaggregate models. **Research in Transportation Economics**, v. 43, n. 1, p. 123–136, 2013.
- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v. 19, n. 6, p. 716–723, 1974.
- ANTP-ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. **Sistema de Informações da Mobilidade Urbana - Relatório Geral 2014**. São Paulo, 2015.
- BARTLETT, S. The problem of children's injuries in low-income countries : a review. **Health policy and planning**, v. 17, n. 1, p. 1–13, 2002.
- BIERLAIRE, M. BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models. **Proceedings of the 3rd Swiss Transportation Research Conference**, Ascona, Switzerland. 2003.
- BRASIL. Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Publicado no **Diário Oficial da União em 4 de janeiro de 2012**. Brasília, 2012.
- BRENAC, T.; CLABAUX, N. The indirect involvement of buses in traffic accident processes. **Safety Science**, v. 43, n. 10, p. 835–843, 2005.
- BRT Center of Excellence; EMBARQ; IEA e SIBRT. **Global BRT Data**: version 3.21, 10, última modificação em: fev. 2017. Disponível em: brtdata.org. Acesso em: 19 fevereiro 2017.
- CAFISO, S.; DI GRAZIANO, A.; PAPPALARDO, G. Road safety issues for bus transport management. **Accident Analysis and Prevention**, v. 60, p. 324–333, 2013.
- CARDOSO, G. GOLDNER, L. **Um estudo do risco de atropelamentos em vias com corredores exclusivos para ônibus em Porto Alegre – RS**. In: XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Florianópolis, 2004.
- CERVERO, R. et al. Influences of Built Environments on Walking and Cycling: Lessons from Bogotá. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 3, n. 4, p. 203–226, 2009.
- CERVERO, R.; KOCKELMAN, K. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 2, n. 3, p. 199–219, 1997.
- CET-SP. **Segurança e Mobilidade: Faixa de Pedestres Iluminada**. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/consultas/seguranca-e-mobilidade/faixa-de-pedestres-iluminada.aspx>. Acesso em: 06 fevereiro 2017.
- CHEN, C. et al. A multinomial logit model-Bayesian network hybrid approach for driver injury severity analyses in rear-end crashes. **Accident Analysis and Prevention**, v. 80, p. 76–88, 2015.
- CHEN, P.; ZHOU, J. Effects of the built environment on automobile-involved pedestrian crash frequency and risk. **Journal of Transport & Health**, v. 3, n. 4, p. 448–456, 2016.

CHIMBA, D.; SANDO, T.; KWIGIZILE, V. Effect of bus size and operation to crash occurrences. **Accident Analysis and Prevention**, v. 42, n. 6, p. 2063–2067, 2010.

CUNTO, F. J. C.; NODARI, C. T.; BARBOSA, H. M. Transferência de modelos de previsão de acidentes entre cidades brasileiras. **Transportes**, v. 22, n. 3, p. 76–85, 2014.

DATASUS. **Estatísticas vitais**. Ministério da Saúde. Informações de saúde (TABNET). Disponível em <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php>>. Acesso em 19 fevereiro 2017.

DENATRAN- DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Estatística**: Frota de veículos. Brasil, 2016. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em: 31 maio 2016.

DIOGENES, M. C.; LINDAU, L. A. Evaluation of Pedestrian Safety at Midblock Crossings, Porto Alegre, Brazil. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2193, n. 1, p. 37–43, 2011.

DOMECICH, T. A.; MCFADDEN, D. **Urban travel demand: A behavioral analysis** **Transportation Research**. North Holland. 1975.

DONG, C. et al. Assessment of the effects of highway geometric design features on the frequency of truck involved crashes using bivariate regression. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 75, p. 30–41, 2015.

DPVAT **Boletim estatístico** ano 3, volume 3. Seguradora Líder. Disponível em <<http://www.seguradoralider.com.br/SitePages/boletim-estatistico.aspx>>. Acesso em 14 fevereiro 2017.

DUDUTA, N. et al. Understanding Road Safety Impact of High-Performance Bus Rapid Transit and Busway Design Features. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2317, p. 8–14, 2012.

DUDUTA, N. et al. The Relationship Between Safety , Capacity , and Operating Speed on Bus Rapid Transit Case Study: Transoeste BRT, Rio De Janeiro. In: 13TH WORLD CONFERENCE ON TRANSPORT RESEARCH, 2013, Rio de Janeiro. **Proceedings of 13th World Conference on Transport Research**, 2013.

DUDUTA, N. et al. Traffic safety in surface public transport systems: a synthesis of research. **Public Transport**, p. 121–137, 2014.

DUMBAUGH, E.; LI, W.; JOH, K. The built environment and the incidence of pedestrian and cyclist crashes. **URBAN DESIGN International**, v. 18, n. 3, p. 217–228, 2013.

DUMBAUGH, E.; RAE, R. Safe Urban Form: Revisiting the Relationship Between Community Design and Traffic Safety. **Journal of the American Planning Association**, v. 75, n. 3, p. 309–329, 2009.

ELIAS, W.; SHIFTAN, Y. The influence of individual's risk perception and attitudes on travel behavior. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 46, n. 8, p. 1241–1251, 2012.

ELVIK, R. et al. **The Handbook of Road Safety Measures**. Emerald Group, 2009.

ELVIK, R. et al. Effects on accidents of changes in the use of studded tyres in major cities in Norway: A long-term investigation. **Accident Analysis and Prevention**, v. 54, p. 15–25, 2013.

EMBARQ. **Saving lives with sustainable transport**. World Resources Institute. Washington, EUA, 2013.

EPTC, 2016: Novo sistema de transporte entra em operação na segunda-feira
http://www2.portoalegre.rs.gov.br/eptc/default.php?p_noticia=184625.

EWING, R.; DUMBAUGH, E. The Built Environment and Traffic Safety A Review of Empirical Evidence. **Journal of Planning Literature**, v. 23, n. 4, p. 347–367, 2009.

FABBRIN, P.; NODARI, C. T. **Análise do tratamento para mitigar a acidentalidade em uma empresa de transportes intermunicipal de passageiros**. 2016. 14f. Trabalho de conclusão em MBT Gestão de transportes de passageiros. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

FERREIRA, S.; COUTO, A. Traffic flow-accidents relationship for urban intersections on the basis of the translog function. **Safety Science**, v. 60, p. 115–122, 2013.

FHWA - FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **A Guide for Maintaining Pedestrian Facilities for Enhanced Safety**. U.S. Department of Transportation. Washington, DC, EUA, 2013.

FORBES, J. J.; HABIB, M. A. Pedestrian Injury Severity Levels in the Halifax Regional Municipality, Nova Scotia, Canada: Hierarchical Ordered Probit Modeling Approach. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 1, n. 2519, p. pp 172–178, 2015.

FUENTES, C. M.; HERNANDEZ, V. Spatial environmental risk factors for pedestrian injury collisions in Ciudad Juárez, Mexico (2008-2009): implications for urban planning. **International Journal of Injury Control and Safety Promotion**, v. 20, n. 2, p. 169–78, 2013.

GARBER, N. J. e HOEL, L. A. **Traffic and Highway Engineering**. Cengage Learning, 2014, 5th Edition, 1248 p.

GARBER, N. J.; RIVERA, G.; LIM, I.-K. Safety Performance Functions for Intersections. Transportation Research Board 90th Annual Meeting. Washington DC. **Anais do Transportation Research Board 90th Annual Meeting**, 2011.

GARCEAU, T. et al. Evaluating selected costs of automobile-oriented transportation systems from a sustainability perspective. **Research in Transportation Business and Management**, v. 7, p. 43–53, 2013.

GOH, K. C. K. et al. Experimental microsimulation modeling of road safety impacts of bus priority. **Transportation Research Record**, v. 50, n. 2402, p. 9–18, 2013a.

GOH, K. et al. Understanding the Road Safety Implications of Bus Priority Measures in Melbourne. 13th World Conference on Transport Research. Rio de Janeiro. **Proceedings of 13th World Conference on Transport Research**. 2013b.

GOH, K. C. K. et al. Bus accident analysis of routes with/without bus priority. **Accident Analysis and Prevention**, v. 65, p. 18–27, 2014.

GREENE, W. Testing hypotheses about interaction terms in nonlinear models. **Economics Letters**, v. 107, p. 291–296, 2010.

GREENE, W. W. H. **Econometric analysis**. [s.l: s.n.]. v. 97. 2012.

GREENE, W.; HENSHER, D. **Modeling ordered choices**. [s.l: s.n.]. 2009.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. Bookman Editora, 2009.

HANDY, S. L. et al. How the Built Environment Affects Physical Activity Views from Urban Planning. **American Journal of Preventive Medicine**, v. 23, n. 2, p. 64–73, 2002.

HEDELIN, A.; BUNKETORP, O.; BJÖRNSTIG, U. Public transport in metropolitan areas - A danger for unprotected road users. **Safety Science**, v. 40, n. 5, p. 467–477, 2002.

HENSHER, D. A.; ROSE, J. M.; GREENE, W. H. **Applied Choice Analysis: A Primer**. [s.l.] Cambridge, 2005.

HIDALGO, DARIO; CARRIGAN, A. **Modernizing Public Transportation: Lessons learned from major bus improvements in Latin America and Asia**. [s.l: s.n.]. EMBARQ. 2010.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas populacionais para os municípios e para as Unidades da Federação brasileiros**. Brasil, 2014. Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2016/default.shtm>. Acesso em: 20 fevereiro 2017.

IBM. **IBM SPSS Statistics 19 Brief Guide**, 2010.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Comunicado nº 94: Infraestrutura Social e Urbana no Brasil – subsídios para uma agenda de pesquisa e formulação de políticas públicas**. Brasília, Brasil, 2011.

JENSEN, S. U.; BUCH, T. S. Two-way Cycle Crossings at Non-signalized Intersections and Roundabouts. In: 4TH INTERNATIONAL CYCLING SAFETY CONFERENCE. Hannover, Germany. **Paper presented at 4th International Cycling Safety Conference**. 2015.

KAPLAN, S.; PRATO, C. G. Risk factors associated with bus accident severity in the United States: A generalized ordered logit model. **Journal of Safety Research**, v. 43, n. 3, p. 171–180, 2012.

KARANTANOS, M.; VARDAKI, S. Road Safety Audit : A comparative Review of Current Guidelines and Designers ' Approach. In: ROAD SAFETY AND SIMULATION

INTERNATIONAL CONFERENCE. Rome, Italy. **Proceedings of Road Safety And Simulation International Conference**. 2013.

KASHANI, A. T.; RABIEYAN, R.; BESHARATI, M. M. A data mining approach to investigate the factors influencing the crash severity of motorcycle pillion passengers. **Journal of Safety Research**, v. 51, p. 93–98, 2014.

KEALL, M. D.; NEWSTEAD, S. Analysis of factors that increase motorcycle rider risk compared to car driver risk. **Accident Analysis and Prevention**, v. 49, p. 23–29, 2012.

KIM, J. K. et al. Age and pedestrian injury severity in motor-vehicle crashes: A heteroskedastic logit analysis. **Accident Analysis and Prevention**, v. 40, n. 5, p. 1695–1702, 2008.

LADRÓN DE GUEVARA, F.; WASHINGTON, S.; OH, J. Forecasting Crashes at the Planning Level: Simultaneous Negative Binomial Crash Model Applied in Tucson, Arizona. **Transportation Research Record**, v. 1897, n. 1, p. 191–199, 2004.

LARRAÑAGA, A. M. et al. Estimando a importância de características do ambiente construído para estimular bairros caminháveis usando best-worst scaling. **Revista Transportes**, v. 24, n. 2, p. 13–20, 2016.

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

LINDAU, L. A.; HIDALGO, D.; FACCHINI, D. Curitiba, the Cradle of Bus Rapid Transit. **Built Environment**, v. 36, p. 274–283, 2010.

LITMAN, T. **Evaluating Public Transit Benefits and Costs: Best Practices Guidebook**. Victoria Transport Policy Institute. Canadá, 2017.

LORD, D. Modeling motor vehicle crashes using Poisson-gamma models: examining the effects of low sample mean values and small sample size on the estimation of the fixed dispersion parameter. **Accident Analysis and Prevention**, v.38, n.4, p.751-766, 2006.

LORD, D.; MANNERING, F. The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 44, n. 5, p. 291–305, 2010.

LOVEGROVE, G.; SAYED, T. Using Macrolevel Collision Prediction Models in Road Safety Planning Applications. **Transportation Research Record**, v. 1950, n. 1, p. 73–82, 2006.

MANNERING, F. L.; BHAT, C. R. Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions. **Analytic Methods in Accident Research**, 2014.

MARSHALL, W. E.; GARRICK, N. W. Does street network design affect traffic safety? **Accident Analysis and Prevention**, v. 43, n. 3, p. 769–781, 2011.

MCARTHUR, A.; SAVOLAINEN, P. T.; GATES, T. J. Spatial Analysis of Child Pedestrian and Bicycle Crashes Development of Safety Performance Function for Areas Adjacent to Schools. **Transportation Research Record**, n. 2465, p. 57–63, 2014.

MITRA, R.; BULIUNG, R. N. The influence of neighborhood environment and household travel interactions on school travel behavior : an exploration using geographically-weighted models. **Journal of Transport Geography**, v. 36, p. 69–78, 2014.

MOHAMED, M. G. et al. A clustering regression approach: A comprehensive injury severity analysis of pedestrian-vehicle crashes in New York, US and Montreal, Canada. **Safety Science**, v. 54, p. 27–37, 2013.

MOHAN, D. Road traffic injuries: a stocktaking. **Best practice & research. Clinical rheumatology**, v. 22, n. 4, p. 725–39, 2008.

MOTHAFER, G. I. M. A.; YAMAMOTO, T.; SHANKAR, V. N. Evaluating crash type covariances and roadway geometric marginal effects using the multivariate Poisson gamma mixture model. **Analytic Methods in Accident Research**, v. 9, p. 16–26, 2016.

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. M. Generalized Linear Models. **Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)**, v. 135, n. 3, p. 370–384, 1972.

NORDFJÆRN, T. et al. Transport priorities, risk perception and worry associated with mode use and preferences among Norwegian commuters. **Accident Analysis and Prevention**, v. 72, p. 391–400, 2014.

NYCDoT - NEW YORK CITY DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **The New York City Pedestrian Safety Study & Action Plan**. Nova York/NY, EUA, 2010a.

_____. **Green Light for Midtown Evaluation Report**. Nova York/NY, EUA, 2010b.

_____. **FAQ's – Frequently Asked Questions**. Nova York/NY, EUA, 2014.

ORTÚZAR, J. DE D.; WILLUMSEN, L. G. **Modelling Transport**. 4th Edition. Wiley, 2011.

PAYDAR, M.; KAMANI-FARD, A.; ETMINANI-GHASRODASHTI, R. Perceived security of women in relation to their path choice toward sustainable neighborhood in Santiago, Chile. **Cities**, v. 60, Part A, p. 289-300, 2017.

PMPA - PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Plano Diretor Cicloviário Integrado – Relatório final**. Porto Alegre, 2008.

_____. **Transporte em Números: Indicadores Anuais de Mobilidade Urbana**. Empresa Pública de Transporte e Circulação. Porto Alegre, Brasil, 2016.

POUR-ROUHOLAMIN, M.; ZHOU, H. Investigating the risk factors associated with pedestrian injury severity in Illinois. **Journal of Safety Research**, v. 57, p. 9–17, 2016.

QGIS. **QGIS User Guide: Release testing**, 2017.

REDELMEIER, D. A.; RAZA, S. Life-threatening motor vehicle crashes in bright sunlight. **Medicine**, v. 96, n. 1, 2017.

RICHMOND, S. A. et al. Exploring the impact of a dedicated streetcar right-of-way on pedestrian motor vehicle collisions: A quasi experimental design. **Accident Analysis and Prevention**, v. 71, p. 222–227, 2014.

RIFAAT, S. M.; TAY, R.; DE BARROS, A. Effect of street pattern on the severity of crashes involving vulnerable road users. **Accident Analysis and Prevention**, v. 43, n. 1, p. 276–283, 2011.

SCHWARZ, G. Estimating the dimension of a model. **The Annals of Statistics**, v. 6, n. 2, p. 461–464, 1978.

SHAHEED, M. S. B. et al. A mixed logit analysis of two-vehicle crash severities involving a motorcycle. **Accident Analysis and Prevention**, v. 61, p. 119–128, 2013.

STEVENS, N.; SALMON, P. Safe places for pedestrians: Using cognitive work analysis to consider the relationships between the engineering and urban design of footpaths. **Accident Analysis and Prevention**, v. 72, p. 257–66, 2014.

TORRES, T. B. **Prevalência de fatores associados a acidentes viários no entorno de escolas**. 2016. 119 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

UKKUSURI, S. et al. The role of built environment on pedestrian crash frequency. **Safety Science**, v. 50, n. 4, p. 1141–1151, 2012.

UNITED NATIONS. **World Urbanization Prospects: The 2014 Revision**. New York, 2015. 517 p. Disponível em: <esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf>. Acesso em: 31 maio 2016.

VANGALA, P.; LORD, D.; GEEDIPALLY, S. R. Exploring the application of the Negative Binomial–Generalized Exponential model for analyzing traffic crash data with excess zeros. **Analytic Methods in Accident Research**, v. 7, p. 29–36, 2015.

VASCONCELLOS, E. A. **Risco no trânsito, omissão e calamidade: impactos do incentivo à motocicleta no Brasil**. 1ª edição. São Paulo: Instituto Movimento, 2013.

VECINO-ORTIZ, A. I.; HYDER, A. A. Road Safety Effects of Bus Rapid Transit (BRT) Systems: a Call for Evidence. **Journal of Urban Health**, v. 92, n. 5, p. 940–946, 2015.

VERZOSA, N.; MILES, R. Severity of road crashes involving pedestrians in Metro Manila, Philippines. **Accident Analysis and Prevention**, v. 94, p. 216–226, 2016.

WADoT – Department of Transport de Western Australia. **Planning and designing for pedestrians: guidelines**. Perth, Australia, 2016.

WALTON, D.; BUCHANAN, J.; MURRAY, S. J. Exploring factors distinguishing car-versus-car from car-versus-motorcycle in intersection crashes. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 17, p. 145–153, 2013.

WASHINGTON, S. P.; KARLAFTIS, M. G.; MANNERING, F. **Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis**, 1st edition. Chapman and Hall/CRC, 2003.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2011-2020**. Suíça, 2010.

_____. **10 facts on global road safety**. Suíça, 2011. Disponível em: <http://www.who.int/features/factfiles/roadsafety/en/index.html>. Acesso em: 31 janeiro 2017.

_____. **Global status report on road safety 2015**. Switzerland, 2015. Disponível em: http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/. Acesso em: 01 junho 2016.

WIER, M. et al. An area-level model of vehicle-pedestrian injury collisions with implications for land use and transportation planning. **Accident Analysis and Prevention**, v. 41, n. 1, p. 137–145, 2009.

WRI - WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Segurança em sistemas prioritários para ônibus**. Brasil, 2015.

YASMIN, S.; ELURU, N.; UKKUSURI, S. V. Alternative Ordered Response Frameworks for Examining Pedestrian Injury Severity in New York City. **Journal of Transportation Safety & Security**, v. 6, n. 4, p. 275–300, 2014.

ZAHABI, S. A. H. et al. Estimating Potential Effect of Speed Limits, Built Environment, and Other Factors on Severity of Pedestrian and Cyclist Injuries in Crashes: **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2247, n. 1, p. 81–90, 2011.

ZHANG, Y. et al. Investigating the associations between road network structure and non-motorist accidents. **Journal of Transport Geography**, v. 42, p. 34–47, 2015.