

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS CACHOEIRA DO SUL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES E
LOGÍSTICA

Letícia Oestreich Carvalho

**ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE SINISTROS DE TRÂNSITO
ENVOLVENDO PEDESTRES NA CIDADE DE CACHOEIRA DO SUL**

Cachoeira do Sul, RS
2020

Leticia Oestreich Carvalho

**ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE SINISTROS DE TRÂNSITO ENVOLVENDO
PEDESTRES NA CIDADE DE CACHOEIRA DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Transportes e Logística, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) – Campus Cachoeira do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em **Engenharia de Transportes e Logística**.

Orientador: Prof. Dr. Alejandro Ruiz Padillo
Co-orientadora: Profa. Dra. Brenda Medeiros Pereira

Cachoeira do Sul, RS
2020

Letícia Oestreich Carvalho

**ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE SINISTROS DE TRÂNSITO ENVOLVENDO
PEDESTRES NA CIDADE DE CACHOEIRA DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Transportes e Logística, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) – Campus Cachoeira do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em **Engenharia de Transportes e Logística**.

Aprovado em 14 de agosto de 2020:

Alejandro Ruiz Padillo, Dr. (UFSM)
(Presidente/ Orientador)

Brenda Medeiros Pereira, Dra. (UFSM)
(Co-orientadora)

Tatiana Cureau Cervo, Dra. (UFSM)

Tânia Batistela Torres, Me. (UFRGS)

Cachoeira do Sul, RS
2020

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível, pelo auxílio, compreensão e dedicação de várias pessoas. Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste estudo, e em especial, agradeço:

- à orientação dada pelos professores Dr. Alejandro Ruiz Padillo e Dra. Brenda Medeiros Pereira, grata pela confiança em mim depositada e pela oportunidade concedida à área mobilidade urbana e segurança viária no âmbito de Engenharia de Transportes e Logística.

- ao meu orientador Dr. Alejandro Ruiz Padillo grata pela pessoa humana que és, sempre incentivador, atento e dedicado. Também, pela oportunidade de atuar como bolsista em iniciação científica nesses últimos três anos, ensinando-me o caminho da pesquisa científica, que foi de grande importância para minha decisão de querer seguir essa trajetória.

- às mulheres da minha vida, a minha mãe Nívia Oestreich, minha dinda (mãe de coração) Gleci Teresinha de Souza, e também a minha avó Arisilda Sabin Oestreich que infelizmente não está mais entre nós para prestigiar esse momento. Agradeço a vocês por todo amor verdadeiro e a educação concebida, vocês são exemplos de luta e me fazem fortalecida.

- aos meus irmãos, Litiele Oestreich Carvalho e Lucas Oestreich Carvalho, que souberam entender a minha ausência e que sempre me deram incentivo para continuar, dedico meu esforço de cada dia para vocês, não desistam dos seus sonhos.

- à Universidade pública, gratuita e de qualidade, pela oportunidade de estudo e assistência fornecida. Assim como, ao Fundo de Incentivo a Pesquisa (FIPE) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela oportunidade de bolsas de iniciação científica concedidas. Agradeço por tornarem possível o meu aperfeiçoamento no ensino e na pesquisa, que foi essencial para o desenvolvimento e concretização deste trabalho.

- ao 34º Batalhão da Brigada Militar de Cachoeira do Sul por ter disponibilizado os dados de sinistros de trânsito da cidade ao Laboratório de Mobilidade e Logística (LAMOT). Agradeço às colegas do laboratório que auxiliam na coleta dos dados. Também, agradeço ao LAMOT por ter concebido a mim o acesso aos dados, grata pela confiança depositada.

Enfim, a todos aqueles que fazem parte da minha vida e que são essenciais para a minha longa jornada longa na busca de me tornar um ser humano melhor.

*Há verdadeiramente duas coisas diferentes:
saber e crer que se sabe. A ciência consiste em
saber; em crer que se sabe reside a ignorância.*

(Hipócrates)

RESUMO

ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE SINISTROS DE TRÂNSITO ENVOLVENDO PEDESTRES NA CIDADE DE CACHOEIRA DO SUL

AUTORA: Letícia Oestreich
ORIENTADOR: Alejandro Ruiz Padillo
CO-ORIENTADORA: Brenda Medeiros Pereira

A insegurança viária tem afetado a vida de milhares de pessoas ao redor do mundo, configurando-se em um problema de saúde pública. Nos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, a situação da insegurança viária é ainda mais grave. Os pedestres são um dos usuários mais afetados, por serem usuários vulneráveis do sistema de tráfego e constantemente associados ao perfil de vítimas de sinistros de trânsito fatais. Além disso, nas cidades de pequeno porte há uma maior dificuldade para a implementação de planos que foquem na melhoria das condições das vias para os pedestres. Assim, esse trabalho tem como objetivo identificar os pontos críticos que necessitam de intervenções para a melhoria da segurança viária dos pedestres em Cachoeira do Sul-RS/Brasil, uma cidade de pequeno porte. Um banco de dados sobre os sinistros de trânsito com vítimas ocorridos na cidade e informações coletadas do ambiente viário foi explorado através de técnicas de Análise Fatorial Exploratória e Análise de Agrupamentos em conjunto com ferramentas geoespaciais para análise dos sinistros com pedestres. Como resultados, foram identificados os fatores que influenciam na ocorrência dos sinistros de trânsito, associando-os com os componentes do sistema de tráfego. O perfil dos atropelamentos foi incorporado na análise dos pontos críticos identificando grupos de ocorrência de atropelamentos conforme segmentos com características viário-ambientais que possuem uma relação com os riscos de lesão de pedestres. Adicionalmente intervenções voltadas a melhoria da segurança viária foram sugeridas. Acredita-se que esses resultados possam servir como base para a elaboração de políticas voltadas para salvar vidas no trânsito.

Palavras-chave: Sinistros de Trânsito. Segurança Viária. Pedestres. Análise Multivariada de Dados. SIG

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE OCCURENCE OF TRAFFIC CRASHES INVOLVING PEDESTRIANS IN THE CITY OF CACHOEIRA DO SUL

AUTHOR: Letícia Oestreich
ADVISOR: Alejandro Ruiz Padillo
CO-ADVISOR: Brenda Medeiros Pereira

Road crashes have affected the lives of thousands of people around the world, becoming a public health problem. In development countries, such as Brazil, the road safety problems are even worse. Pedestrians are the mostly affected, as they are vulnerable users constantly associated with fatal crashes' victims. In addition, in small cities usually face more difficult to implement plans that focus on improving pedestrian infrastructure. Thus, this study aims to identify hotspots needing interventions to improve pedestrian safety in Cachoeira do Sul-RS/Brazil, a small city. A database of road crashes and road environment characteristics was explored using Exploratory Factor Analysis and Cluster Analysis techniques with geospatial tools to analyze pedestrian crashes. As a result, the factors contributing to road crashes were related to the components of the traffic system. The pedestrian's crashes profile was incorporated in the analysis of the hotspots identifying groups of road crashes according to segments with road-environmental characteristics in relation to the risks of pedestrian injury. Additionally, interventions were suggested aimed to improve road safety. These results may serve as the basis for public policies to propose measures in order to save lives in traffic.

Keywords: Traffic accident. Road safety. Pedestrians. Multivariate Data Analysis. GIS

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO

Figura 1 – Cenário de estudo.....	17
Figura 2 – Frota veicular por tipo de veículo do município de Cachoeira do Sul/RS.....	18
Figura 3 – Sinistros de trânsito em Cachoeira do Sul/RS conforme o tipo entre 2015 e 2018.....	18
Figura 4 – Fluxograma da metodologia de pesquisa.....	20

ARTIGO 1

Figura 1 – Componentes do sistema de tráfego.....	25
Figura 2 – Representação geoespacial dos atropelamentos em Cachoeira do Sul/RS.....	38
Figura 3 – Gráfico linear dos autovalores dos fatores obtidos da AFE (<i>Scree Plot</i>).....	39

ARTIGO 2

Figura 1 – Modelo de dendograma para análise de <i>cluster</i> hierárquico.....	59
Figura 2 – Representação geoespacial dos atropelamentos conforme os <i>clusters</i>	63
Figura 3 – Mapa de calor de KDE dos atropelamentos de pedestres do <i>cluster</i> 1.....	64
Figura 4 – Mapa de calor de KDE dos atropelamentos de pedestres do <i>cluster</i> 2.....	65
Figura 5 – Mapa de calor de KDE dos atropelamentos de pedestres do <i>cluster</i> 3.....	66
Figura 6 – Mapa de calor de KDE dos atropelamentos de pedestres.....	68

DISCUSSÃO

Figura 5 – Captura de um trecho da avenida Marcelo Gama.....	75
Figura 6 – Captura de um trecho da rua Dona Hermínia.....	76
Figura 7 – Captura de um trecho da avenida Brasil.....	77

LISTA DE QUADROS

ARTIGO 1

Quadro 1 – Fatores da via que influenciam na segurança dos pedestres..... 29

Quadro 2 – Fatores do ambiente que influenciam na segurança dos pedestres..... 31

Quadro 3 – Variáveis características dos sinistros de trânsito envolvendo pedestres.... 33

ARTIGO 2

Quadro 1 – Características viário-ambientais dos atropelamentos de pedestres..... 57

DISCUSSÃO

Quadro 4 – Intervenções de segurança viária sugeridas para o *cluster* 1..... 78

Quadro 5 – Intervenções de segurança viária sugeridas para o *cluster* 2..... 79

Quadro 6 – Intervenções de segurança viária sugeridas para o *cluster* 3..... 79

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1 –Resultado das cargas fatoriais e as comunalidades da Análise Fatorial..... 40

ARTIGO 2

Tabela 1 – Resultado final do agrupamento pelo método de *K-means*..... 62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	<i>Anti-block Brake System</i>
AFE	Análise Fatorial Exploratória
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
AASHTO	<i>American Association of State Highway Transportation Officials</i>
BO	Boletim de Ocorrência
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
DETRAN	Departamento de Trânsito do Estado do Rio Grande do Sul
GIS	Geographic Information System
KDE	<i>Kernel Density Estimation</i>
KMO	<i>Kaiser-Meyer-Olkin</i>
LAMOT	Laboratório de Mobilidade e Logística
LCA	<i>Latent Class Analysis</i>
Latim NCAP	<i>Latin New Car Assessment Programme</i>
MSA	Medida de Adequação da Amostra
ONU	Organização das Nações Unidas
PCA	<i>Principal Component Analysis</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SMIC	Secretaria Municipal da Produção, Indústria e Comércio
TOD	<i>Transit-oriented development</i>
WRI	<i>World Resources Institute</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	QUESTÃO DE PESQUISA.....	13
1.2	OBJETIVO GERAL.....	14
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.4	DELIMITAÇÃO.....	14
1.5	LIMITAÇÕES.....	14
1.6	DELINEAMENTO.....	15
2	METODOLOGIA	16
2.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	16
2.2	CENÁRIO DE ESTUDO.....	16
2.3	CARACTERIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS DOS SINISTROS.....	18
2.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	19
3	ARTIGO 1 – FATORES CONTRIBUINTES DOS SINISTROS DE TRÂNSITO ENVOLVENDO PEDESTRES EM CACHOEIRA DO SUL	23
4	ARTIGO 2 – PERFIL DOS ATROPELAMENTOS DE PEDESTRES E ANÁLISE DOS PONTOS CRÍTICOS EM UMA CIDADE DE PEQUENO PORTE	48
5	DISCUSSÃO	74
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
	REFERÊNCIAS	81
	ANEXO A – DENDOGRAMA DO AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO	84

1 INTRODUÇÃO

Os esforços para salvar vidas em decorrência dos sinistros de trânsito, nos últimos anos, têm tomado força em todo o mundo. Uma das motivações está nas diretrizes estabelecidas pelo plano conhecido como Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, criado em 2015 pela Organização das Nações Unidas (ONU) e adotado por países signatários como o Brasil. A temática de segurança viária está explicitamente inclusa em duas das dezessete metas estabelecidas na agenda, que devem ser cumpridas até 2030, sendo elas: assegurar a vida e o bem-estar, e promover medidas para a sustentabilidade nas cidades (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2015).

O número de mortes em decorrência dos sinistros de trânsito continua aumentando, e atingiu o ápice de 1,35 milhão de vidas em 2016 no mundo, tornando a insegurança viária como a oitava principal causa da morte de pessoas para todas as idades (WHO, 2018). Esses dados motivaram diversas ações, dentre elas, a criação da Década de Ação pela Segurança no Trânsito em 2011 foi um marco importante para a segurança viária. Vários países, entre eles o Brasil, se comprometeram a adotar medidas para prevenção de sinistros de trânsito, sendo uma das metas reduzir em 50% as mortes e lesões no trânsito até 2020 (WHO, 2011). Contudo, os esforços não foram suficientes para alcançar as metas estabelecidas, e ainda há muito trabalho a ser feito para que seja garantida a segurança viária da população. Por isso, houve a renovação da Década de Ação pela Segurança Viária 2020-2030 adicionando-se mais uma meta: zerar o número de mortes até 2050 (WHO, 2020).

Nos países de média e baixa renda a situação é ainda mais preocupante, pois as chances de ocorrer um sinistro de trânsito com morte é três vezes maior do que em outros países. As estatísticas mostram que 88% dos sinistros de trânsito ocorrem em países de baixa e média renda (PEDEN et al., 2004). Nesse contexto, o Brasil se encontra em quarto lugar entre os países que mais matam no trânsito, em números absolutos (WHO, 2018). A ocorrência de sinistros de trânsito com maior intensidade nos países de renda menor é influenciada pela carência de políticas orientadas por planejamentos urbanos. Isso resulta em infraestruturas de transporte precárias ou inexistentes, principalmente aquelas destinadas aos pedestres e os ciclistas, pois as medidas existentes em sua maioria estão orientadas para os deslocamentos dos veículos motorizados particulares (PEDEN et al., 2008; WELLE et al., 2015).

Ao estender-se a discussão com relação ao porte das cidades, aquelas de pequeno e médio porte são as que mais enfrentam dificuldades para a implementação de medidas de planejamento urbano voltado para o uso de modos de transportes mais sustentáveis, como ir a

pé ou de bicicleta. Isso porque as cidades pequenas veem as instalações voltadas ao pedestre como comodidades recreativas e não como um modo de transporte que precisa ser incentivado. Embora algumas delas até possuam planos diretores ou setoriais que incluem a mobilidade do pedestre nos seus objetivos, dificilmente medidas são implementadas, pois falta corpo técnico especializado nos órgãos municipais e também, em muitas ocasiões, os recursos necessários (EVANS-COWLEY, 2006).

Os pedestres e os ciclistas, juntamente com os motociclistas, são os usuários mais vulneráveis do trânsito. A fragilidade desses usuários os expõe com maior intensidade aos riscos do trânsito, e a ocorrência de sinistros envolvendo esses usuários tende a ser mais grave (ELVIK et al., 2015; WELLE et al., 2015). Segundo o Relatório Mundial de Segurança Viária, os sinistros envolvendo os usuários vulneráveis representam 54% dos sinistros de trânsito com mortes (WHO, 2018). No Brasil, esses usuários representam 82,6% das vítimas de sinistros de trânsito fatais, sendo que os pedestres e ciclistas são mais da metade dessas vítimas (CET, 2015).

Nos ambientes urbanos, a precariedade das infraestruturas das calçadas, mostra que as necessidades dos pedestres parecem ter sido negligenciadas dentro do contexto dos projetos viários, em contrapartida, há uma maior atenção aos espaços destinados à circulação de veículos motorizados (ANDRADE; LINKE, 2017; CASTRO et al., 2011). No entanto, a mobilidade a pé é uma das formas mais usuais de se deslocar nas cidades, pois toda pessoa em algum momento se torna pedestre. Esse fato reflete na predominância de viagens a pé nas cidades brasileiras, onde 40,4% das viagens diárias são realizadas por esse modo de transporte (ANTP, 2018). Essas evidências mostram que é necessário repensar a forma como o pedestre está inserido no ambiente urbano e os riscos enfrentados por eles diariamente. Assim, identificar de que forma os sinistros de trânsito ocorrem com os pedestres e quais os fatores que influenciaram para a ocorrência deles pode auxiliar na formulação de medidas públicas voltadas à melhoria da segurança desses usuários, como também na promoção do uso de modos de transportes mais sustentáveis (EWING; CERVERO, 2010; WELLE et al., 2015).

1.1 QUESTÃO DE PESQUISA

Este trabalho norteia-se a partir da seguinte questão de pesquisa: como melhorar a segurança de pedestres através da identificação dos perfis de atropelamentos e dos fatores que contribuem para a ocorrência dos sinistros de trânsito envolvendo pedestres em Cachoeira do Sul/RS?

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é identificar os pontos críticos para a segurança viária dos pedestres a partir da análise dos fatores contribuintes dos sinistros de trânsito e os perfis dos atropelamentos ocorridos em Cachoeira do Sul entre 2015 a 2018.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como forma de atender o objetivo geral, os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) identificar os fatores que contribuem para a ocorrência dos sinistros de trânsito envolvendo pedestres conforme revisão da literatura.
- b) identificar os fatores que colaboraram para a ocorrência dos sinistros de trânsito envolvendo pedestres em Cachoeira do Sul/RS.
- c) identificar o perfil das vítimas e as características dos sinistros de trânsito envolvendo pedestres em Cachoeira do Sul/RS.
- d) representar graficamente os locais de concentração de atropelamentos conforme grupos de sinistros do estudo de caso.
- e) associar os fatores contribuintes e o perfil dos sinistros envolvendo pedestres com estudos prévios para propor medidas para a melhoria da segurança viária nos pontos críticos identificados.

1.4 DELIMITAÇÃO

O estudo se delimita a análise da segurança viária no âmbito urbano, sendo que os dados dos sinistros de trânsito utilizados se referem aos sinistros envolvendo pedestres reportados em Boletins de Ocorrência (BO) registados pelo Batalhão da Polícia Militar da cidade do estudo entre os anos 2015 e 2018.

1.5 LIMITAÇÕES

São limitações deste trabalho:

- a) o banco de dados dos sinistros de trânsito disponível refere-se àqueles sinistros com vítimas em que a mesma pudesse ser caracterizada.

- b) a caracterização do sinistro e do perfil das vítimas é limitada conforme as informações dispostas no BO.
- c) a coleta de dados dos fatores do ambiente construído é limitada àqueles dados que podem ser coletados e caracterizados mediante a abrangência da análise.
- d) as informações coletadas do ambiente construído referem-se as condições atuais e não aquelas vistas no período da ocorrência dos sinistros analisados (2015-2018). Assume-se, portanto, que neste período não ocorreram mudanças significativas na infraestrutura relacionada ao ambiente construído e da via.
- e) dados de volume de tráfego no período de análise não foram utilizados pela inexistência de coleta de dados desse tipo na cidade.

1.6 DELINEAMENTO

Este trabalho está organizado em seis capítulos. No primeiro capítulo é apresentada uma introdução ao tema e justificativa da importância de estudos de segurança viária aplicados aos pedestres. Esse capítulo também apresenta o objetivo geral e específicos, delimitação e limitações do estudo. O segundo capítulo consiste na apresentação da metodologia adotada por este estudo, apresentando a classificação da pesquisa, o cenário de estudo e os procedimentos metodológicos que serão realizados para atingir os objetivos propostos neste trabalho. Salienta-se que este trabalho está apresentado em formato de artigos integrados, portanto os capítulos três e quatro referem-se ao desenvolvimento desses artigos.

Sendo assim, o terceiro capítulo refere-se ao Artigo 1 proposto por este estudo, que contempla um estudo dos fatores contribuintes dos sinistros de trânsito envolvendo os pedestres na cidade de Cachoeira do Sul/RS através de uma Análise Fatorial Exploratória (AFE). O quarto capítulo contempla o Artigo 2, que tem como objetivo identificar os pontos críticos dos sinistros de trânsito envolvendo os pedestres conforme os perfis de atropelamentos obtidos através de uma Análise de Agrupamentos.

O quinto capítulo abrange uma discussão acerca dos resultados obtidos nos dois artigos apresentados anteriormente, tendo como finalidade integrar a discussão das temáticas e os resultados do trabalho como um todo, de modo a propor intervenções para a melhoria da segurança viária que podem ser implementadas através medidas públicas. E por fim, o sexto capítulo refere-se às considerações finais do estudo, onde é apresentada uma síntese dos temas e resultados tratados ao longo do trabalho para alcançar os objetivos.

2 METODOLOGIA

Nessa seção são apresentados os processos metodológicos adotados como forma de atender os objetivos propostos pelo estudo. Dentre as informações abordadas, é feita uma breve classificação da pesquisa com base nas suas finalidades, abrangência temporal, objetivos e procedimentos técnicos. Após isso, é apresentado o cenário de estudo onde se aplica a metodologia proposta e algumas informações que o caracterizam. Em seguida são apresentadas as etapas referentes aos procedimentos metodológicos em que é explicado o desenvolvimento do estudo para a obtenção de resultados.

2.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O presente estudo é classificado quanto à finalidade como uma pesquisa aplicada, uma vez que os resultados têm aplicação imediata. A abrangência temporal é do tipo transversal visto que o estudo propõe a observação de um fenômeno em um dado momento. Quanto ao objetivo, a pesquisa se classifica como exploratória pois, conforme descrito por Gil (2002), esse tipo de pesquisa busca explorar um tema como forma de se familiarizar sobre o assunto e compreender fenômenos que muitas vezes são desconhecidos. O presente estudo se classifica dessa forma pois se aplica a um estudo de caso de uma cidade em específico e precisa uma busca na literatura e a aplicação de técnicas como forma de explorar os fatores que contribuem para a ocorrência do fenômeno do problema de pesquisa, e quais as medidas que podem contribuir para a melhoria desse cenário.

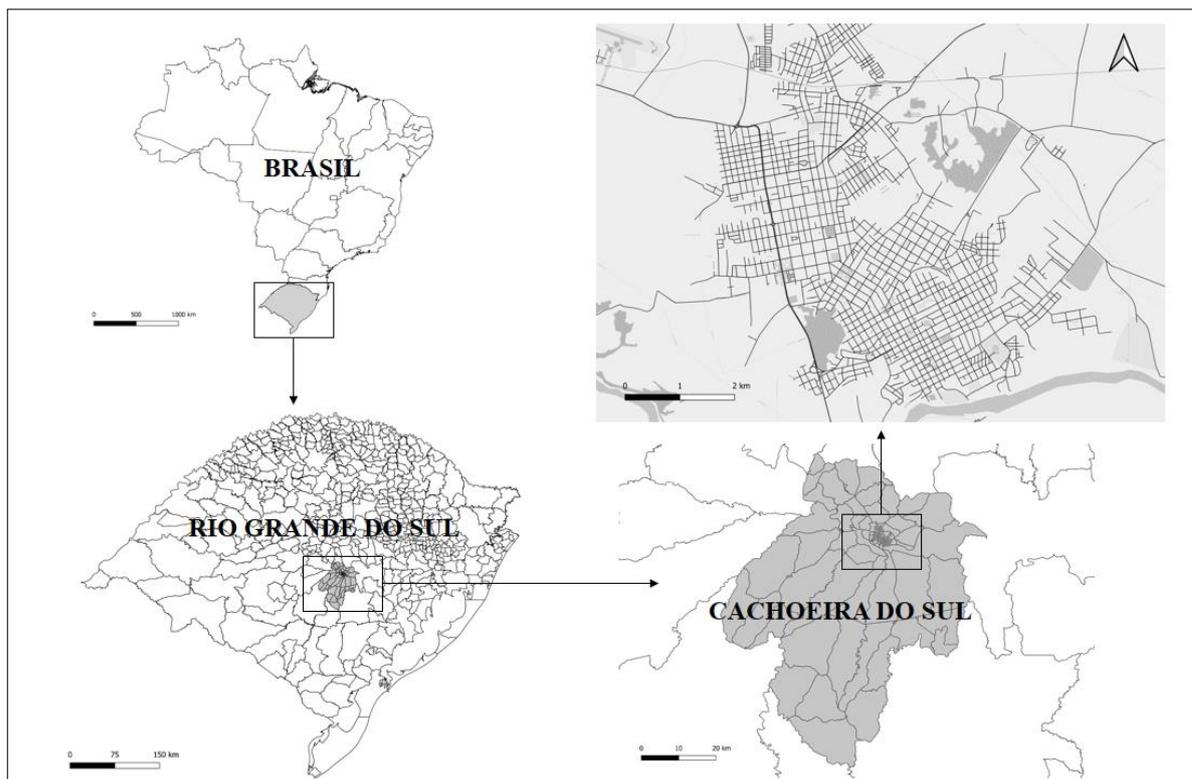
O estudo utiliza como procedimento técnico a pesquisa de campo, que conforme Prodanov e Freitas (2013) é o tipo de estudo que busca, através da coleta de dados e análises, observar como um fenômeno ocorre. O estudo assume como natureza de pesquisa os tipos quantitativa e qualitativa, pois as variáveis a serem observadas podem ser de caráter objetivo como também podem assumir certa subjetividade.

2.2 CENÁRIO DE ESTUDO

O presente estudo será aplicado na área urbana da cidade de Cachoeira do Sul, localizada na região do Vale do Jacuí, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Na Figura 1 é possível visualizar a localização do cenário de estudo. O município possui 83.827 habitantes com base no último censo, caracterizando-se como de pequeno porte. A área urbana da cidade

compreende 46,5 km² conforme informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011).

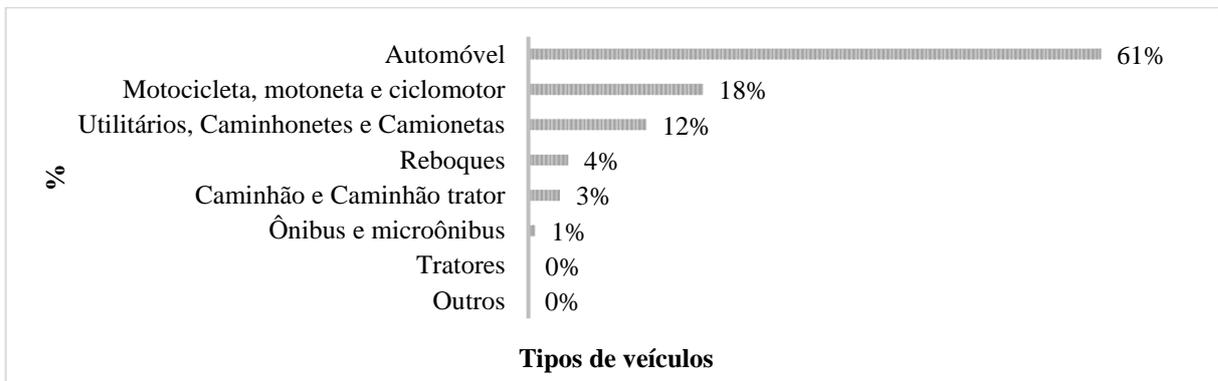
Figura 1 – Cenário de estudo



Fonte: Autora.

A frota veicular de Cachoeira do Sul é composta por 50.947 veículos, sendo o 25º município com maior frota veicular do Rio Grande do Sul, conforme informações do Departamento de Trânsito do Estado do Rio Grande do Sul (DETRAN) (RIO GRANDE DO SUL, 2019). Na figura 2 consta a frota veicular de Cachoeira do Sul conforme a quantidade de veículos e o tipo de veículo.

Figura 2 – Frota veicular por tipo de veículo do município de Cachoeira do Sul/RS

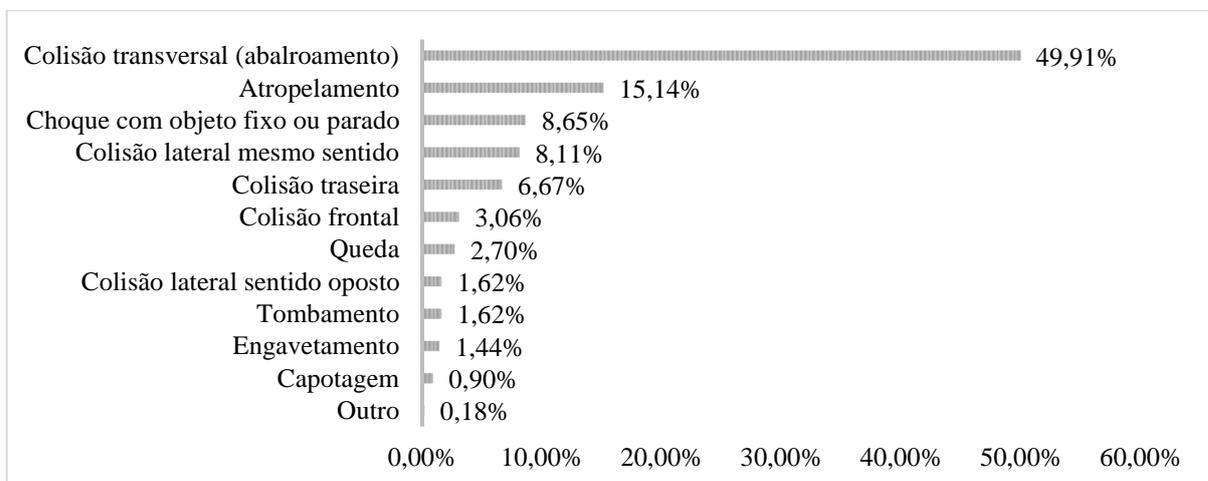


Fonte: Adaptado de Rio Grande do Sul (2019).

2.3 CARACTERIZAÇÃO DO BANCO DE DADOS DOS SINISTROS DE TRÂNSITO

Este estudo tem como base os dados de atropelamentos ocorridos na área urbana de Cachoeira do Sul no período de 2015 a 2018. O banco de dados contendo os sinistros foi disponibilizado pelo Laboratório de Mobilidade e Logística (LAMOT). Os sinistros compreendem aqueles registrados em BOs pelo Batalhão da Brigada Militar da cidade no período informado, na Figura 3 consta os sinistros registrados conforme o tipo.

Figura 3 – sinistros de trânsito em Cachoeira do Sul/RS conforme o tipo entre 2015 e 2018



Fonte: Adaptado do banco de dados fornecido pelo LAMOT.

Segundo os dados, em Cachoeira do Sul ocorreram 734 sinistros no âmbito urbano nesse período, originando em 915 vítimas, sendo que entre eles três foram fatais. Conforme a distribuição percentual apresentada na Figura 3, os atropelamentos são o segundo tipo de sinistros de trânsito ocorridos do município (15,14%), enquanto que do total de óbitos no período, dois foram vítimas de atropelamentos. Essas informações fortalecem a justificativa da necessidade de estudar medidas para redução do número ou gravidade desse tipo de sinistros que tem como vítima principalmente o pedestre.

2.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Como forma de atingir os objetivos propostos, o estudo foi definido em 10 etapas referentes aos procedimentos metodológicos, o fluxograma dessas etapas é apresentado na Figura 4. O primeiro passo (etapa 1) consistiu em fazer um levantamento bibliográfico de estudos voltados à análise de atropelamentos envolvendo os pedestres. Essa etapa deu suporte para a identificação dos fatores que contribuem para a ocorrência de sinistros de trânsito com pedestres. Além de poder coletar essas informações, que corresponde a segunda etapa do estudo, onde foram definidos os fatores contribuintes e a forma de coleta desses dados.

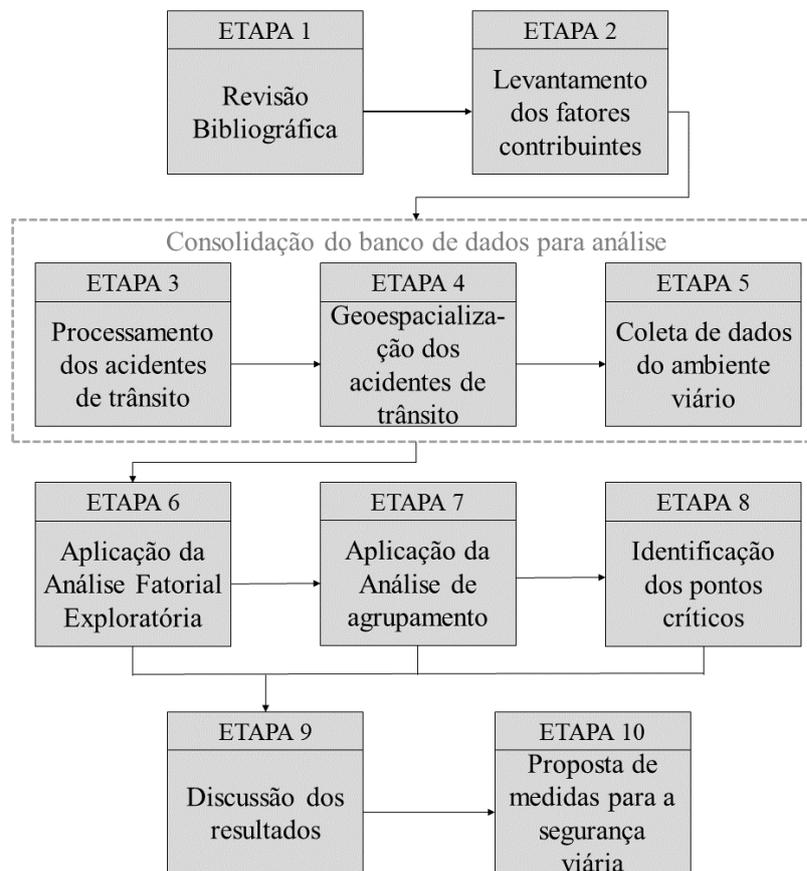
Toda a metodologia desse estudo foi aplicada aos dados de atropelamentos envolvendo pedestres na cidade, conforme apresentados na seção anterior. As etapas 3, 4 e 5 consistem nos procedimentos adotados para a consolidação do banco de dados que foi utilizado para as análises das técnicas a serem definidas na sequência. O propósito principal desse banco de dados é reunir as variáveis características dos fatores que contribuem para a ocorrência de sinistros de trânsito com pedestres.

A etapa 3 consistiu no processamento dos sinistros de trânsito com vítimas registrados em BOs pelo Batalhão da Brigada Militar, ocorridos no período de 2015 a 2018 na área urbana de Cachoeira do Sul/RS. Nessa etapa, foram extraídos da base de dados os sinistros de trânsito envolvendo pedestres, totalizando 94 sinistros. No entanto, havia sinistros que apresentavam endereço incompleto ou outras informações importantes para as análises, esses dados foram removidos permanecendo um total de 84 sinistros.

A etapa 4 consiste na geoespacialização dos sinistros que é feita com o auxílio da ferramenta *QGIS Desktop* versão 3.12.3, um software gratuito que funciona como uma multiplataforma de Sistema de Informação Geográfica (SIG) que é do inglês, *Geographic Information System* (GIS) que permite a visualização, edição e análise de dados

georreferenciados. Esse processo consistiu em referenciar as coordenadas geográficas do endereço de cada um dos sinistros utilizando o complemento *MMQGISgeocode*, para que se pudesse visualizar espacialmente a distribuição deles em um mapa geográfico. Assim, facilitou-se a coleta de dados adicionais daqueles dados obtidos dos BOs, especificamente as características do ambiente viário que se aborda na etapa 5 do estudo.

Figura 4 – Fluxograma da metodologia de pesquisa



Fonte: Autora.

Na etapa 5, foram coletadas informações referentes ao ambiente viário do entorno dos locais onde ocorreram os sinistros, definidos conforme a pesquisa bibliográfica sobre os fatores contribuintes dos sinistros de trânsito que incluem as características viárias e do ambiente. Essa coleta foi feita no *QGIS Desktop* através da adição de complementos de ferramentas de pesquisa e visualização de mapas como *Open Street Maps* e *Google Maps*. Essa etapa é o último procedimento metodológico realizado para a consolidação do banco de dados.

A partir do banco de dados dos sinistros de trânsito envolvendo pedestres com fatores contribuintes coletados, o estudo continuou para a sexta etapa, cujo objetivo foi analisar o banco de dados através das técnicas AFE (em inglês, *Exploratory Factor Analysis* – EFA). Essa etapa foi feita com o auxílio da ferramenta *IBM SPSS Statistics*, tornando possível a verificação da estrutura existente entre as variáveis características dos sinistros de trânsito envolvendo pedestres. Essa análise permitiu extrair os fatores e o conjunto de variáveis pertencentes a eles, conhecidos como dimensões latentes que descrevem o conjunto de dados em um número de características mais reduzido do que se analisados individualmente pelas variáveis originais (HAIR et al., 2009). Dessa forma, a técnica proporcionou uma avaliação das variáveis características dos sinistros diminuindo a complexidade das análises posteriores sem prejudicar a estrutura dos dados. Além disso, a aplicação da técnica possibilitou a verificação do impacto da multicolinearidade nas variáveis, e em casos necessários, orientou a aplicação de medidas corretivas.

Na sétima etapa do fluxograma, a Análise de Agrupamentos (do inglês, *Cluster Analysis*), foi empregada como forma de obter os perfis dos sinistros de trânsito envolvendo pedestres. Aplicou-se o *Hierarchical Cluster* pelo método de ligação completa e medida de similaridade pela distância euclidiana, definidos conforme a adequação ao problema na aplicação pela ferramenta *IBM SPSS Statistics*. O resultado foi exibido através de um dendograma que representa um conjunto de soluções possíveis de agrupamento. Em posse desses dados, uma análise não hierárquica de *K-means* foi aplicada a esse conjunto já limitado de soluções, que foram analisadas com forte rigor conceitual para definição do resultado do agrupamento representativo da amostra.

A partir das análises feitas, na etapa 8, os perfis de atropelamentos envolvendo pedestres foram explorados através de recursos geoespaciais para identificação dos pontos críticos dos sinistros. Uma estimativa da densidade de Kernel (KNE) (do inglês *Kernel density estimate*) foi aplicada ao banco de dados de atropelamentos com base nos perfis obtidos. A visualização espacial através de mapas de calor da concentração dos sinistros com base na sua densidade deu suporte para as discussões sob a perspectiva dos pontos de maior risco para lesão de pedestres na cidade.

Assim, na etapa 9, os resultados da AFE foram discutidos considerando o resultado dos fatores que contribuem para a ocorrência de atropelamentos em Cachoeira do Sul/RS, junto com os resultados da Análise de Agrupamentos, que colabora para a identificação dos perfis de atropelamentos ocorridos na cidade, e da análise espacial com a técnica KNE, com identificação dos pontos críticos de atropelamentos da cidade. Na etapa 10, última etapa dos procedimentos

metodológicos, foram propostas intervenções que podem ser aplicadas para a melhoria da segurança viária dos pedestres conforme os resultados obtidos e as discussões deles, em conjunto ao que sugere a revisão da literatura. Assim, o estudo contribui para a gestão de medidas que podem ser tomadas pelas autoridades públicas responsáveis na estratégia de reduzir o número e a gravidade dos sinistros de trânsito na cidade.

3 ARTIGO 1 – FATORES CONTRIBUINTES DOS SINISTROS DE TRÂNSITO ENVOLVENDO PEDESTRES EM CACHOEIRA DO SUL

CONTRIBUTING FACTORS TO TRAFFIC ACCIDENTS INVOLVING PEDESTRIANS IN CACHOEIRA DO SUL

Letícia Oestreich¹, Alejandro Ruiz-Padillo², Brenda Medeiros Pereira³

RESUMO

Promover a segurança viária para os pedestres contribui para a sustentabilidade nas cidades, pois além de poder reduzir substancialmente os riscos de sinistros, as medidas podem incentivar a mobilidade mais ativa. No entanto, para promover espaços urbanos mais seguros é necessário compreender os fatores que colaboram para a ocorrência dos sinistros, para que medidas apropriadas possam ser tomadas. Este estudo tem como objetivo identificar os fatores que contribuem para a ocorrência dos sinistros de trânsito envolvendo os pedestres em Cachoeira do Sul/RS – Brasil. Para tanto, foi aplicada uma Análise Fatorial Exploratória- AFE a um banco de dados de variáveis características de sinistros com pedestres, definidos conforme a literatura e obtidos a partir dos sinistros de trânsito e características do ambiente viário coletados com ferramenta SIG. Como resultados, foi obtido um conjunto de fatores relevantes que são discutidos conforme componentes do sistema de trânsito – usuário, via, veículo e ambiente. Adicionalmente, diretrizes para medidas de segurança pública para os pedestres são comentadas.

Palavras-chave: Segurança viária. Pedestres. Fatores Contribuintes. SIG

ABSTRACT

Promoting road safety for pedestrians contributes to sustainability in cities, as it reduces substantially the risks of crashes, it also encourages active mobility. However, for promoting a safer urban environment it is necessary to understand contributing factors to the occurrence of road crashes, so that appropriate measures can be taken. This study aims to identify contributing factors to the occurrence of pedestrian crashes in Cachoeira do Sul / RS - Brazil. An Exploratory Factor Analysis - EFA was applied to a road crashes database, defined according to the literature and obtained from reported accidents and road environment characteristics collected with GIS tool. As a result, a set of factors was obtained and discussed according to the components of the transit system - user, road, vehicle and environment. In addition, guidelines for public safety measures for pedestrians are discussed.

Keywords: Road Safety. Pedestrians. Contributing Factors. GIS

¹Estudante, autora; Graduanda em Engenharia de Transportes e Logística pela Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul.

²Engenheiro Civil, orientador; Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de Granada (Espanha); Professor adjunto da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

³Engenheira Civil, co-orientadora; Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Professora adjunta da Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul.

3.1 INTRODUÇÃO

A caminhada é a forma mais básica de se deslocar e a escolha dela como um modo de transporte para compor as viagens configura-se em uma alternativa que contribui para o desenvolvimento sustentável das cidades (ANDRADE; LINKE, 2017; WELLE et al., 2015). Os benefícios também são vistos na saúde, com a diminuição da obesidade e aumento da saúde cardiovascular (LOVASI; GRADY; RUNDLE, 2011).

A mobilidade ativa é predominante nas cidades brasileiras, constituindo uma parcela significativa das viagens totais diárias (ANTP, 2018). No entanto, a precariedade das infraestruturas destinadas à circulação dos pedestres é uma realidade vista em muitas cidades brasileiras, conforme constatado no estudo realizado pela Mobilize Brasil (CASTRO et al., 2011). Isso demonstra que as necessidades dos pedestres foram, muitas vezes, negligenciadas dentro do contexto dos projetos viários (ANDRADE; LINKE, 2017).

Além disso, há evidências, em um contexto internacional, de que nas cidades de pequeno porte as políticas de incentivo a caminhada são ainda menos aplicadas, em contrapartida há uma priorização de medidas voltadas ao transporte motorizado (EVANS-COWLEY, 2006). Associando essa realidade com a vulnerabilidade dos pedestres no contexto de usuários do sistema de trânsito, percebe-se que os riscos deles se envolverem em sinistros de trânsito são ainda maiores (STOKER et al., 2015).

Nesse contexto, o estudo da segurança viária propõe-se a contribuir para a redução dos sinistros de trânsito em uma cidade ou região. A pesquisa nesse âmbito é uma ferramenta que auxilia a orientação das políticas públicas na promoção de ambientes viários mais seguros (FERRAZ et al., 2012). Contudo, para propor medidas para reduzir os sinistros ou a sua gravidade é necessário entender a causa da sua ocorrência. O sinistro de trânsito é entendido como resultado da interação de vários fatores dentro de um sistema, essa interação ocorre entre os fatores que atuam através dos componentes do trânsito, sendo eles: fatores relacionados ao usuário, ao veículo e os fatores viário-ambientais (PERROW, 2011; TREAT et al., 1979).

Assim, o objetivo desse trabalho é identificar os principais fatores que contribuem para a ocorrência de sinistros de trânsito envolvendo pedestres em Cachoeira do Sul, uma cidade brasileira de pequeno porte localizada no interior do Rio Grande do Sul – Brasil. Para tanto, um banco de dados sobre variáveis características dos sinistros de trânsito envolvendo pedestres, definido com base em uma revisão na literatura sobre fatores, é analisado através de uma Análise Fatorial Exploratória (AFE). Os dados de sinistros de trânsito obtidos de Boletins de

Ocorrência do período de 2015-2018 e características viário-ambientais coletadas através de uma ferramenta SIG são utilizados. A aplicação da técnica permitirá que sejam identificadas inter-relações entre as variáveis, e através de um processo iterativo identificar os principais fatores que corroboram para a ocorrência desses sinistros.

3.2 ANÁLISE DOS SINISTROS DE TRÂNSITO

A análise de dados dos sinistros de trânsito e identificação das suas causas constituem-se como os primeiros estudos para compreender a natureza da ocorrência dos sinistros e os fatores envolvidos (OGDEN, 1996). Os registros de sinistros de trânsito são uma das principais fontes disponíveis de informação de dados relativos à quantificação da segurança viária. No Brasil, esses registros são feitos pela Polícia ou agentes de trânsito através do preenchimento do Boletim de Ocorrência (BO). O preenchimento dos boletins, na maioria das vezes, é feito somente quando há vítimas ou veículos oficiais envolvidos (FERRAZ et al., 2012).

A análise dos dados de sinistros constitui um processo necessário para compreender os motivos que levaram à ocorrência dos sinistros de trânsito e quais os fatores que influenciam os riscos relativos. Contudo, as informações contidas nos BOs nem sempre são suficientes para compreender a causa dos sinistros do ponto de vista da pesquisa em segurança viária. Isso ocorre, pois, os fatores contribuintes vão além daqueles reportados nos boletins, havendo a necessidade de coleta de informações adicionais sobre o ambiente viário (CHAGAS, 2011). A identificação dos fatores que contribuem para os sinistros conforme os componentes do trânsito é geralmente utilizada, já que esses fatores atuam sobre os componentes. Na Figura 1 constam os três principais componentes do tráfego e seus tipos.

Figura 1 – Componentes do sistema de tráfego

USUÁRIO	VIA/AMBIENTE	VEÍCULO
<ul style="list-style-type: none"> • Pedestre • Ciclista • Passageiro • Condutor de veículo motorizado 	<ul style="list-style-type: none"> • Calçadas • Ciclovia/ciclofaixa • Faixas de tráfego, faixa de ônibus • Uso do solo • Clima 	<ul style="list-style-type: none"> • Não motorizados: bicicletas, patinetes • Motorizados: carro, motocicleta, caminhão e ônibus.

3.2.1 Classificação dos sinistros de trânsito envolvendo pedestres

Os sinistros de trânsito envolvendo os pedestres podem ser classificados como atropelamentos ou quedas. Segundo Ferraz et al. (2012), um atropelamento é descrito como uma colisão de um veículo em movimento com um ou mais pedestres. Já a queda ocorre quando uma pessoa cai sobre a superfície da via, seja por alguma irregularidade no pavimento, desequilíbrio, ou a combinação de ambas.

Apesar de assumir relativa importância no âmbito do planejamento seguro das vias, as quedas de pedestres não são reconhecidas como um sinistro de trânsito. A Classificação Internacional de Doenças considera os sinistros de trânsito como eventos externos de lesão de transporte ocorridos de forma não intencional em que esteja envolvido um dispositivo projetado para transportar pessoas ou mercadorias – veículo (WHO/ ICD-11, 2019). Da mesma forma, a Lei nº 9.503 de setembro de 1997, que institui o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), tem suas definições legais regidas pelo envolvimento de um veículo motorizado como característica dos sinistros de trânsito (BRASIL, 1997). Assim, segundo essas definições, os registros de sinistros de trânsito envolvendo pedestres, contidos em BOs, apenas contemplarão os atropelamentos.

3.3 FATORES QUE CONTRIBUEM PARA OS ATROPELAMENTOS DE PEDESTRES

O manual de segurança viária para pedestres da ONU (WHO, 2002) sugere que os principais fatores de riscos para os pedestres relacionados aos três componentes do tráfego são:

- a) usuário: comportamento arriscado dos motoristas, relacionado principalmente ao excesso de velocidade, ingestão de bebidas alcoólicas e direção.
- b) via: falta ou precariedade da infraestrutura destinada às necessidades dos pedestres, como calçadas, faixas de pedestres, canteiros centrais, etc.
- c) veículo: *design* de veículos que não favorecem a segurança dos pedestres em caso de atropelamentos, como com a parte da frente inflexível ou veículos muito grandes.

As discussões acerca dos fatores contribuintes dos sinistros de trânsito envolvendo os pedestres são reportadas nesta seção. O conteúdo foi organizado conforme uma revisão na literatura relacionando-os com os principais componentes do tráfego.

3.3.1 Fatores contribuintes associados ao componente de tráfego “usuário”

O perfil dos envolvidos nos sinistros parece influenciar no padrão de atropelamentos de pedestres. A falha nos sinistros envolvendo pedestres e veículos automotores na Carolina do Norte (EUA) foi avaliada por Ulfarsson, Kim e Booth (2010), os autores constatarem que 59% dos sinistros estavam relacionados a falha do pedestre, 32% nos motoristas e 9% em ambos os usuários. No entanto, conforme reportado na literatura, o envolvimento em sinistros está associado a diferentes características dos motoristas, tais como gênero, idade e comportamento no trânsito, sendo que esse último está relacionado à ingestão de bebidas alcoólicas, uso do cinto de segurança e velocidade de operação (AL-MADANI; AL-JANAHI, 2006; FRIDMAN et al., 2019; LEE; ABDEL-ATY, 2005).

O estudo de Al-Madani e Al-Janahi (2006) identificou que os homens são mais suscetíveis do que as mulheres a se envolverem nos sinistros de trânsito. Laapotti (2005) sugere que os homens possuem comportamento mais arriscado no trânsito, enquanto que Lee e Abdel-Aty (2005) identificaram que homens de meia idade estão associados ao perfil de motoristas que se envolveram em sinistros com pedestres.

Com relação às vítimas, as crianças e os idosos se encontram nas faixas etárias de usuários mais vulneráveis do tráfego (FRIDMAN et al., 2019; LOBJOIS; BENGUIGUI; CAVALLO, 2013), em decorrência das suas limitações com relação às capacidades cognitivas para resposta as exigências do tráfego, e por isso correm mais riscos de se envolverem em sinistros de trânsito (AL-MADANI; AL-JANAHI, 2006; FRIDMAN et al., 2019; PRATO; GITELMAN; BEKHOR, 2012). Por outro lado, conforme verificado por Al-Madani e Al-Janahi (2006), os pedestres com idades entre 20 e 29 anos têm menos risco de exposição a sinistros em termos de frequência e gravidade devido à sua melhor percepção do risco e à sua capacidade física de reagir contra ele.

3.3.2 Fatores contribuintes associados componente de tráfego “veículo”

A alta velocidade de operação desempenhada pelos veículos é um dos fatores que apresentam um maior efeito na gravidade dos sinistros envolvendo os pedestres (ELVIK et al., 2015; GÂRDER, 2004). Com relação ao tipo de veículo, os automóveis estão associados a um maior número de sinistros com pedestres com relação aos outros tipos de veículos como caminhões, ônibus e vans (DAI, 2012; DING; CHEN; JIAO, 2018; LEE; ABDEL-ATY, 2005; ULFARSSON; KIM; BOOTH, 2010). Contudo, é mais provável que sinistros mais graves

envolvendo pedestres e ciclistas ocorram quando veículos grandes (ônibus, caminhão) estão envolvidos (CHEN; SHEN, 2016; PEDEN et al., 2008).

Com relação às tecnologias empregadas nos veículos para promover maior segurança veicular, o cinto de segurança de três pontos criado em 1959 foi uma das tecnologias mais marcantes da segurança viária (HÅLAND, 2006). No entanto, a legislação brasileira regulamentou o uso obrigatório para todos os ocupantes dos veículos em todas as vias do território nacional em setembro de 1997 pela Lei nº 9.503 Artigo 65 do CTB (BRASIL, 1997) e somente na resolução CONTRAN nº 48 de maio de 1998 (BRASIL, 1998) foi estabelecido que os veículos devem ser produzidos com cinto de três pontos a partir de 1999.

Outras tecnologias que auxiliam na segurança veicular incluem o freio *Anti-block Brake System* (ABS), o qual evita travamento de rodas durante a frenagem brusca, e o sistema *Airbag* – sensores na parte frontal do veículo acionados em caso de colisão, entre várias outras. Como forma de medir a segurança automobilística, os testes de colisão realizados pela *Latin New Car Assessment Programme* (Latin NCAP) fornecem o desempenho de carros vendidos na América Latina e Caribe, da mesma forma que Euro NCAP atua na Europa. A metodologia empregada nesses testes consiste na classificação (que varia de 0 a 5 estrelas) da proteção oferecida pelos veículos testados, oferecendo aos consumidores avaliações independentes, com o objetivo de estimular as fabricantes a ter um melhor desempenho na segurança dos veículos (LATIN NCAP, 2014).

3.3.3 Fatores contribuintes associados aos componentes de tráfego “via” e “ambiente”

A identificação dos fatores contribuintes dos sinistros de trânsito que estão relacionados às características da via e do ambiente viário é mediada principalmente por determinantes dos fatores de risco. Conforme sugere a literatura, as três principais variáveis da via que estão relacionadas à exposição de risco dos pedestres são volume de tráfego, fluxo de pedestres e velocidade de operação dos veículos (DAI, 2012; ELVIK, 2009; JACOBSEN, 2015; LEE; ABDEL-ATY, 2005; MOHAMED et al., 2013; UKKUSURI et al., 2012). Assim, são estimados efeitos indiretos relacionados ao ambiente construído com base na exposição ao risco dos pedestres (UKKUSURI et al., 2012). Conforme uma revisão na literatura, os principais fatores contribuintes dos sinistros de trânsito envolvendo pedestres estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Fatores da via que influenciam na segurança dos pedestres

Fator	Referências Bibliográficas
Categoria da via (local, coletora, arterial, via expressa)	(DAI, 2012; EWING; SCHIEBER; ZEGEER, 2003; GITELMAN et al., 2012)
Limite de velocidade da via	(BASILE; PERSIA; USAMI, 2010; UKKUSURI et al., 2012; ULFARSSON; KIM; BOOTH, 2010)
Número de faixas de tráfego e largura da via	(BASILE; PERSIA; USAMI, 2010; DAI, 2012; DAMSERE-DERRY et al., 2010; EWING; SCHIEBER; ZEGEER, 2003; GITELMAN et al., 2012; LI; FAN, 2019; UKKUSURI et al., 2012)
Configuração da via (mão única, dois sentidos dividida e não dividida)	(LI; FAN, 2019; PRATO; GITELMAN; BEKHOR, 2012; ULFARSSON; KIM; BOOTH, 2010)
Superfície de rolamento (asfalto, paralelepípedo)	(CHO; RODRÍGUEZ; KHATTAK, 2009)
Condição da superfície (seca, molhada)	(MOHAMED et al., 2013)
Cruzamento de vias (interseção)	(GITELMAN et al., 2012; LEE; ABDEL-ATY, 2005; PRATO; GITELMAN; BEKHOR, 2012)
Presença de dispositivo de controle de tráfego	(BASILE; PERSIA; USAMI, 2010; DAI, 2012; LEE; ABDEL-ATY, 2005; LI; FAN, 2019)
Presença de faixa de pedestre	(BASILE; PERSIA; USAMI, 2010; DAI, 2012; GITELMAN et al., 2012; UKKUSURI et al., 2012)

Evidências mostram que os atropelamentos de pedestres ocorrem em sua maioria em situações em que o pedestre está atravessando a rua (DAMSERE-DERRY et al., 2010; ELVIK et al., 2015; GITELMAN et al., 2012). Segundo o estudo conduzido por Gitelman et al. (2012) em Israel, ocorrem em sua maioria em áreas urbanas, fora dos cruzamentos, em situações de travessia de pedestres, nos locais onde não existem faixas de pedestres ou elas estão mal sinalizadas.

Corredores urbanos de alta atividade, onde rodovias cruzam vias locais, aumentam significativamente os riscos de lesões com pedestres em comparação com outras áreas urbanas. Isso ocorre, pois, esses locais geralmente possuem características que dificultam a caminhada e a travessia de pedestres, devido ao número elevado de faixas de tráfego, velocidade desempenhada dos veículos e disponibilidade limitada de calçadas (DAI, 2012; EWING; SCHIEBER; ZEGEER, 2003).

O estudo de Gitelman et al. (2012) constatou que mais de 80% das áreas com alta concentração sinistros de veículos com pedestres em Israel estavam situados em vias arteriais de várias faixas pertencentes a região central das cidades. De forma semelhante, Ukkusuri et al. (2012) verificaram que a probabilidade de colisão entre pedestres e veículos aumenta com o número de faixas e a largura da estrada. O estudo de Prato et al. (2019) sobre o perfil dos sinistros de trânsito envolvendo pedestres na Dinamarca mostrou que a maioria dos sinistros ocorreram em condições da superfície de rolamento seca em estradas de mão dupla com uma faixa por sentido.

Em contrapartida, configurações urbanas que provocam uma redução na velocidade dos veículos através do elevado fluxo de pedestres e disponibilidade de dispositivos de controle de tráfego favorecem a segurança de pedestres (BASILE; PERSIA; USAMI, 2010; DAI, 2012; JACOBSEN, 2015; LEE; ABDEL-ATY, 2005). No estudo de Lee e Abdel-Aty (2005) sobre sinistros de trânsito na Flórida, a ausência de sinais de trânsito estava relacionada a mais sinistros do que a presença de sinais de trânsito nas áreas rurais, assim como mais sinistros ocorreram em estradas não divididas com mais número de faixas do que estradas divididas com menor número de faixas (LEE; ABDEL-ATY, 2005).

Com relação aos fatores contribuintes relacionados ao ambiente, no Quadro 2 estão dispostos os fatores referentes as características temporais e do ambiente e as características do ambiente construído.

Condições do ambiente como dia da semana e período do dia parecem influenciar nos padrões de atropelamentos envolvendo pedestres. O estudo de Dai (2012) avaliou os fatores contribuintes dos sinistros de trânsito envolvendo pedestres em Georgia (EUA), constatando que a maior porcentagem de lesões foi vista no período de verão, nos fins de semana e em horários equivalentes ao início da noite até o começo da manhã, este último, indica a relação com a visibilidade noturna. Já as sextas-feiras apresentaram uma porcentagem maior de lesões em comparação com os outros dias da semana. Em um estado próximo, na Flórida, conforme o estudo de Lee e Abdel-Aty (2005) os sinistros noturnos foram associados a motoristas com níveis alcoólicos elevados.

Por outro lado, Gitelman et al. (2012) indica que os sinistros envolvendo pedestres nas cidades de Israel ocorrem em condições normais, ou seja, durante o dia e condições da superfície secas. Da mesma forma, para Prato et al. (2019) os sinistros ocorrem durante os dias da semana e em boas condições climáticas com piso seco.

Em relação aos fatores socioeconômicos, McMahon (1999) constatou que áreas com alto nível de desemprego, moradias mais antigas, menor proporção de pessoas na família e mais pais solteiros estão associadas a uma maior probabilidade de ocorrência de sinistros envolvendo pedestres. O estudo de Chen e Shen (2016) sobre os sinistros envolvendo bicicletas constatou que a gravidade da lesão está associada negativamente à densidade do emprego e ferimentos graves ou fatalidade estão associados negativamente a uso do solo misto. Um estudo brasileiro realizado em entornos de escolas, constatou que aquelas localizadas em áreas com menor renda apresentavam condições de infraestrutura para o pedestre mais precárias (GOMES et al., 2015).

Quadro 2 – Fatores do ambiente que influenciam na segurança dos pedestres

Tipo	Fator	Referências bibliográficas
Características temporais e do ambiente	Condições de iluminação	(DAI, 2012; GITELMAN et al., 2012; LEE; ABDEL-ATY, 2005; LI; FAN, 2019; SASIDHARAN; WU; MENENDEZ, 2015)
	Dia da semana ou fim de semana	(GITELMAN et al., 2012; PRATO; GITELMAN; BEKHOR, 2012; SASIDHARAN; WU; MENENDEZ, 2015)
	Clima	(DAI, 2012; GITELMAN et al., 2012; LI; FAN, 2019; SASIDHARAN; WU; MENENDEZ, 2015)
	Estação do ano	(MOHAMED et al., 2013; PRATO; GITELMAN; BEKHOR, 2012; SASIDHARAN; WU; MENENDEZ, 2015)
	Perfil socioeconômico do entorno	(CHEN; SHEN, 2016; GOMES et al., 2015; MCMAHON et al., 1999; MOHAMED et al., 2013; UKKUSURI et al., 2012; WIER et al., 2009)
Características do ambiente construído	Padrão de uso do solo (comercial, residencial)	(CLIFTON; KREAMER-FULTS, 2007; DAI, 2012; DAI; JAWORSKI, 2016; GITELMAN et al., 2012; MIRANDA-MORENO; MORENCY; EL-GENEIDY, 2011; MOHAMED et al., 2013; WIER et al., 2009)
	Acesso ao transporte público	(DAI, 2012; DAI; JAWORSKI, 2016; UKKUSURI et al., 2012; XIE et al., 2017)
	Pontos críticos (escolas, mercados, hospitais)	(BASILE; PERSIA; USAMI, 2010; CLIFTON; KREAMER-FULTS, 2007; SIDDIQUI; ABDEL-ATY; CHOI, 2012; UKKUSURI et al., 2012)
	Existência de calçada	(BASILE; PERSIA; USAMI, 2010; CLIFTON; KREAMER-FULTS, 2007; EVANS-COWLEY, 2006; EWING; SCHIEBER; ZEGER, 2003; MCMAHON et al., 1999)
	Densidade de comércios e serviços	(BASILE; PERSIA; USAMI, 2010; CLIFTON; KREAMER-FULTS, 2007; EVANS-COWLEY, 2006; EWING; SCHIEBER; ZEGER, 2003; MCMAHON et al., 1999)

A presença de calçadas e em boas condições é fundamental para a garantia da segurança dos pedestres (EVANS-COWLEY, 2006). Áreas verdes e calçadas amplas estão associadas a uma maior segurança para os pedestres (MCMAHON et al., 1999). Para Ukkusuri et al. (2012) as características do uso do solo influenciam na ocorrência de sinistros de trânsito envolvendo pedestres: áreas com maior fração de indústrias, comércios, e aqueles que possuem o uso do solo menos denso têm maior probabilidade de sinistros envolvendo pedestres, enquanto que áreas mais residenciais têm uma probabilidade significativamente menor. Os autores também constataram que fatores determinantes de atividades de pedestres como presença de escolas e paradas de ônibus aumentam a probabilidade de ocorrência de sinistros envolvendo esse usuário. Esse último vai ao encontro do estudo de Mohamed et al. (2013), que constatou que é provável que ocorram mais sinistros com pedestres com mais paradas do transporte público.

3.4 METODOLOGIA

Neste capítulo, são apresentados os procedimentos metodológicos adotados para que sejam identificados os principais fatores que contribuem para a ocorrência de atropelamentos na cidade de Cachoeira do Sul-RS. Dados de sinistros de trânsito foram utilizados e características do ambiente viário do local dos sinistros foram adicionalmente coletadas. O banco de dados gerado foi analisado mediante a aplicação de uma AFE no software *IBM SPSS Statistics*.

3.4.1 Coleta de dados das variáveis características dos atropelamentos de pedestres

Com base nos dados de sinistros de trânsito envolvendo pedestres ocorridos no período de 2015-2018 obtidos dos BOs disponibilizados pelo Batalhão da Brigada Militar da cidade de Cachoeira do Sul/RS, um banco de dados contendo os sinistros foi criado com o propósito de reunir as variáveis características dos fatores que contribuem para a ocorrência de sinistros de trânsito com pedestres definidos a partir de uma revisão na literatura. Nesse momento, os fatores foram convertidos em variáveis mensuráveis para que pudessem ser obtidas dos BOs, ou então coletadas com o auxílio de ferramentas geoespaciais como no QGIS. No Quadro 3, consta o resumo das variáveis utilizadas no presente estudo, classificadas conforme o componente de tráfego, tipologia, níveis e a fonte de coleta.

As variáveis *Idade*, *Sexo* (do motorista e do pedestre), *Veículo envolvido*, *Condição da superfície*, *Hora de ocorrência*, *Dia* e *Clima* estavam contidas de forma completa (indireta ou diretamente) no boletim de ocorrência e, portanto, somente foram extraídas do banco de dados e ajustadas conforme as categorias mensuradas. No entanto, as demais variáveis foram coletadas. Assim, para permitir a coleta desses dados, os endereços dos sinistros foram geocodificados utilizando a ferramenta MMQGIS *geocode* no QGIS 3.8.1 DESKTOP. A análise espacial dos sinistros permitiu a visualização e extração dos dados das variáveis relacionadas principalmente a via e ao ambiente. As ferramentas geoespaciais SIG utilizadas foram o QGIS e o Google Earth.

Quadro 3 – Variáveis características dos sinistros de trânsito envolvendo pedestres

Componente do tráfego	Tipo	Variável	Tipo de variável	Descrição dos níveis	Fonte de coleta
Humano	Características do pedestre	Sexo pedestre	Categórica	Feminino (1); Masculino (2); não informado (0)	BO
		Idade pedestre	Categórica	Menos que 15 anos (1); entre 15 a 29 anos (2); 30 a 59 anos (3); 60 ou mais (4); não informado (0)	BO
	Características do motorista	Sexo motorista	Categórica	Feminino (1); Masculino (2)	BO
		Idade motorista	Categórica	Entre 18 a 29 anos (2); 30 a 59 anos (3); 60 ou mais (4); não informado (0)	BO
Veicular	Características do veículo	Veículo envolvido	Categórica	Carro (1); Motocicleta (2); Ônibus (3); Caminhão (4); Bicicleta (5)	BO
Via	Características da rede viária	Categoria da via	Categórica	Vias locais (1); coletoras (2); arteriais (3); trânsito rápido (4)	SIG
		Limite de velocidade	Categórica	30 km (1); 40 km (2); 60 km (3)	BO/ SIG
		Interseção	<i>Dummy</i>	Não (1); Sim (2)	BO/ SIG
		Superfície de rolamento	Categórica	Asfalto (1); paralelepípedo (2); não pavimentada (3)	BO/ SIG
		Condição da superfície	Categórica	Seca (1); molhada (2)	BO
		Tipo de via	Categórica	Mão única (1); em dois sentidos não dividido (2); em dois sentidos dividido (3)	SIG
		Número de faixas de tráfego	Categórica	Uma faixa (1); Duas faixas (2); Quatro faixas (3)	SIG
		Controle de tráfego	Categórica	Não semafórico (1); semafórico (2)	SIG
Ambiente	Características do ambiente e temporais	Hora de ocorrência	Categórica	Dia (1); vespertino (2); noite (3)	BO
		Dia	Categórica	Dia de semana (1); fim de semana (2)	BO
		Clima	Categórica	Sol/limpo (1); nublado (2); chuvoso (3); Neblina (4)	BO
		Perfil socioeconômico	Categórica	Menos de 1 salário mínimo (1); 1 até 2 salários (2); 2 até 3 salários (3); 3 salários ou mais (4)	SIG/IBGE
	Características do ambiente construído	Tipo de área	Categórica	Residencial (1); comercial (2)	SIG
		Parada de ônibus	<i>Dummy</i>	Não (1); Sim (2)	SIG
		Pontos críticos (escolas, supermercados, hospitais)	<i>Dummy</i>	Não (1); Sim (2)	SIG
		Existência de calçada	<i>Dummy</i>	Não (1); Sim (2)	SIG
		Densidade de comércios e serviços	Categórica	< 30 comércios/km ² (1); entre 30 a 60 comércios/km ² (2); 60 a 90 comércios/km ² (3); mais de 90 comércios/km ² (4)	SIG/SMIC

A variável *Categoria da Via* foi obtida a partir de uma visualização das vias pertencentes a malha viária da cidade e sua concordância com o que sugere o CTB, artigo 67, inciso I (BRASIL, 1997) sobre a classificação de vias de circulação urbana. A análise foi associada ao limite de velocidade da via e características viárias, um conhecimento prévio do pesquisador sobre a circulação de veículos na rede auxiliou nesse processo. Esse procedimento iniciou pela identificação das principais vias de influência na circulação da cidade, sendo elas: Sete de Setembro, Duque de Caxias, Júlio de Castilhos, Saldanha Marinho, Avenida Brasil, Aparício Borges, Alarico Ribeiro e Marcelo Gama. Dentre elas, a única que apresentava características de uma via arterial é a Marcelo Gama por apresentar quase em toda a sua extensão interseções semaforizadas e limite de velocidade de 60 km/h. Assim, portanto, as outras foram classificadas como vias coletoras que se destinam a coletar e distribuir o tráfego e apresentam velocidade de operação que variavam de 50 a 40 km/h.

As demais vias pertencentes à malha viária da cidade foram classificadas como vias locais que se caracterizam pelo deslocamento dentro dos bairros com limite de velocidade de 30 km/h. Salienta-se que não foi classificada nenhuma via de trânsito rápido na cidade.

As variáveis *Tipo de via*, *Número de faixas de tráfego*, *Controle de tráfego* e *Existência de faixa de pedestre* foram obtidas através de uma análise visual das condições da via no endereço de cada sinistro. A variável *Existência de faixa de pedestres* abrangeu a análise se o ponto em que o sinistro possuía a sinalização transversal e para o *Controle de tráfego* foi avaliado se na interseção mais próxima existia o dispositivo. O *Perfil Socioeconômico* pertencente a categoria de características do ambiente refere-se a renda do endereço do sinistro associada ao bairro. Essa variável foi obtida através de informações de renda das moradias do último censo do IBGE (2011).

Quanto as características do ambiente construído, a variável *Tipo de área* foi obtida através de uma análise conjunta da posição espacial do sinistro (por exemplo, se o sinistro ocorreu em uma via central da cidade) e também análise visual do entorno (se existiam comércios no entorno). As variáveis *Parada de ônibus*, *Pontos críticos* e *Existência de calçada* foram obtidas através de observação visual do local, se nas proximidades do *buffer* de observação de 50 metros (STEENBERGHEN; AERTS; THOMAS, 2010) a partir do ponto do sinistro estavam presentes as características observadas. E por fim, a variável *Densidade de comércios e serviços* foi adquirida através de dados da Secretaria Municipal da Produção, Indústria e Comércio de Cachoeira do Sul (SMIC), sendo a densidade estimada a partir do número de comércios por quilômetro quadrado do bairro em que se localiza o sinistro de trânsito.

3.4. 2 Análise dos dados: Análise Fatorial Exploratória – AFE

A análise da segurança viária baseada em dados coletados sobre os sinistros de trânsito normalmente apresenta uma grande quantidade de informações dada pela dimensão do histórico de sinistros avaliado e pela quantidade de variáveis que descrevem os sinistros. A existência de duas ou mais variáveis a serem estudadas requer o uso de métodos estatísticos apropriados para avaliar o comportamento desses dados simultaneamente. Esses métodos são denominados Métodos de Análises Multivariadas e a escolha da técnica multivariada adequada depende do objetivo do trabalho (FERREIRA, 1996).

Conforme sugerido por Hair et al. (2009) há uma proporção entre o aumento do número de variáveis a serem consideradas nas análises multivariadas e a necessidade de se conhecer a estrutura e as inter-relações entre essas variáveis. Assim, a análise fatorial se apresenta como uma técnica particularmente adequada para analisar os padrões de relações complexas multidimensionais. Essa técnica estatística concentra seu objetivo em definir uma estrutura inerente entre as variáveis de análise. A estatística matemática da análise fatorial para um conjunto de n variáveis pode ser descrita a partir de uma matriz de correlação teórica conforme demonstrado na equação 2 (MINGOTI, 2005).

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= l_{11}F_1 + l_{22}F_2 + \dots + l_{1m}F_m + \varepsilon_1 \\
 Z_2 &= l_{21}F_1 + l_{22}F_2 + \dots + l_{2m}F_m + \varepsilon_2 \\
 &(\dots) \\
 Z_n &= l_{n1}F_1 + l_{n2}F_2 + \dots + l_{nm}F_m + \varepsilon_n
 \end{aligned} \tag{2}$$

Onde Z_1, Z_2, \dots, Z_n são as variáveis; F_1, F_2, \dots, F_m são os fatores comuns (variáveis latentes) que explicam as correlações entre as variáveis e terão que ser identificados; os coeficientes l_{ij} , sendo $i= 1, 2, \dots, n$ e $j= 1, 2, \dots, m$, são chamados de *loadings* (em português, cargas fatoriais) e representam o grau de relacionamento linear entre a variável (Z_i) e o fator (F_j); ε_i são os erros aleatórios (não observáveis) e correspondem aos erros de medida e à variação de Z_i , que não é explicada pelos fatores comuns incluídos na análise.

A Análise Fatorial Exploratória (AFE) pode ser aplicada como uma ferramenta para redução de dados, o que permite que sejam identificadas um número menor de novas variáveis alternativas, mantendo a natureza e o caráter das variáveis originais. No final das análises, as

informações principais das variáveis originais são sumarizadas e encontram-se as variáveis latentes (FÁVERO et al., 2009; MINGOTI, 2005).

Para a aplicação da técnica, é necessário que testes de adequações sejam aplicados na Análise Fatorial como forma de verificar a qualidade do modelo. Testes comumente aplicados são de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e Teste de Esfericidade de Bartlett. A estatística proposta para o teste de KMO conforme descrito por Fávero et al. (2009) compara as correlações simples com as correlações parciais, a matemática do teste é expressada na equação 3.

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} a_{ij}^2} \quad (3)$$

Onde r_{ij} é o coeficiente de correlação entre as variáveis e a_{ij} o coeficiente de correlação parcial. O valor obtido de KMO pode variar entre 0 e 1, esse resultado avalia se a amostra é adequada ao grau de correlação parcial entre as variáveis. Um valor do teste próximo a 0 indica que a correlação das variáveis é fraca e, portanto, a Análise Fatorial não é adequada ao problema. Já quanto mais próximo de 1 for esse valor, mais adequada é a utilização da técnica estatística. O autor recomenda que os valores devem ser no mínimo maiores do que 0,60 para considerar a análise fatorial adequada.

O teste de Esfericidade de Bartlett faz um exame na matriz de correlações e verifica se a Análise Fatorial é adequada ao problema. O teste consiste em verificar se a hipótese H0: a matriz de correlações é uma matriz identidade. Caso aceite-se a hipótese nula, implica em dizer que as variáveis não possuem correlação e, portanto, a Análise Fatorial não é adequada ao problema.

Conforme descrito por Hair et al. (2009) as análises fatoriais com o propósito de resumir o número de variáveis características são comumente chamadas de Análise Fatorial em R e as análises são aplicadas a uma matriz de correlação das variáveis. A matriz de correlação expressa o grau de associação entre as variáveis par a par, o coeficiente de correlação pode variar entre -1 e 1, sendo que quanto mais próximo às extremidades, maior é a associação entre as variáveis observadas

A matriz de correlação anti-imagem fornece os indicativos da necessidade de eliminação de determinada variável para garantir a qualidade do modelo. Para isso, o pesquisador deve avaliar individualmente o valor da “Medida de Adequação da Amostra – MSA”(em inglês, *Measure of Sampling Adequacy*) que é dado pela equação 4 (FÁVERO et al., 2009).

$$MSA = \frac{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} a_{ij}^2} \quad (4)$$

A eliminação da variável do modelo dependerá da análise de aceitabilidade do valor gerado. Para Shimakura (2006) um coeficiente entre 0,00 e 0,19 corresponde a uma correlação muito fraca; entre 0,20 e 0,39 correlação fraca; entre 0,4 a 0,69 correlação moderada; 0,7 a 0,89 correlação forte; e 0,9 a 1,00 uma correlação muito forte.

No *IBM SPSS Desktop* a análise fatorial com o método de extração por *Principal Component Analysis* (PCA - em português, Análise de Componentes Principais) fornecerá um conjunto de fatores e as variáveis pertencentes a ele. Na matriz das comunalidades deve ser garantida uma variabilidade de no mínimo 0,6 para que cada variável possa ser bem explicada quando agrupada em fator. O número de fatores é extraído pela Matriz de Variância total explicada (percentagem acumulada $\geq 60\%$). Após a rotação dos fatores, são identificadas quais variáveis pertencem a cada fator pela Matriz de Componentes Rotacionada, onde as variáveis com maior valor absoluto nas cargas fatoriais pertencem aquele fator (FÁVERO et al., 2009; HAIR et al., 2009).

3.5 RESULTADOS

O banco de dados a ser analisado foi obtido com base na coleta das características dos sinistros de trânsito com vítimas envolvendo pedestres conforme os fatores contribuintes definidos na Quadro 3. Ao total foram avaliados 84 atropelamentos de pedestres, conforme a varredura feita no registro dos Boletins de Ocorrência dos sinistros ocorridos entre 2015 e 2018. A Figura 2 compreende a geoespacialização dos sinistros de trânsito no mapa da cidade, onde cada ponto representa um atropelamento de pedestre ocorrido e a ele foram vinculadas as características das 23 variáveis conforme descrito no Quadro 3.

A Análise Fatorial Exploratória foi aplicada ao banco de dados utilizando a ferramenta *IBM SPSS Statistics*. O método de extração foi o de componentes principais (PCA) com rotação ortogonal Varimax. O teste de esfericidade de Bartlett [$X^2(45)=337,484; <0,001$] e Kaiser-Meyer-Olkin (KMO = 0,745 $\geq 0,6$) mostraram que a aplicação da Análise Fatorial com componentes principais é adequada ao problema. Descartou-se a aplicação de testes de normalidade, pois apesar de esse ser um princípio comum entre as técnicas tradicionais, Hair et al. (2009) sugere que essa verificação é raramente usada, e no caso da AFE essa violação pode

apenas diminuir as correlações observadas, no entanto, conforme pode ser visto, os testes apresentaram uma adequação aceitável.

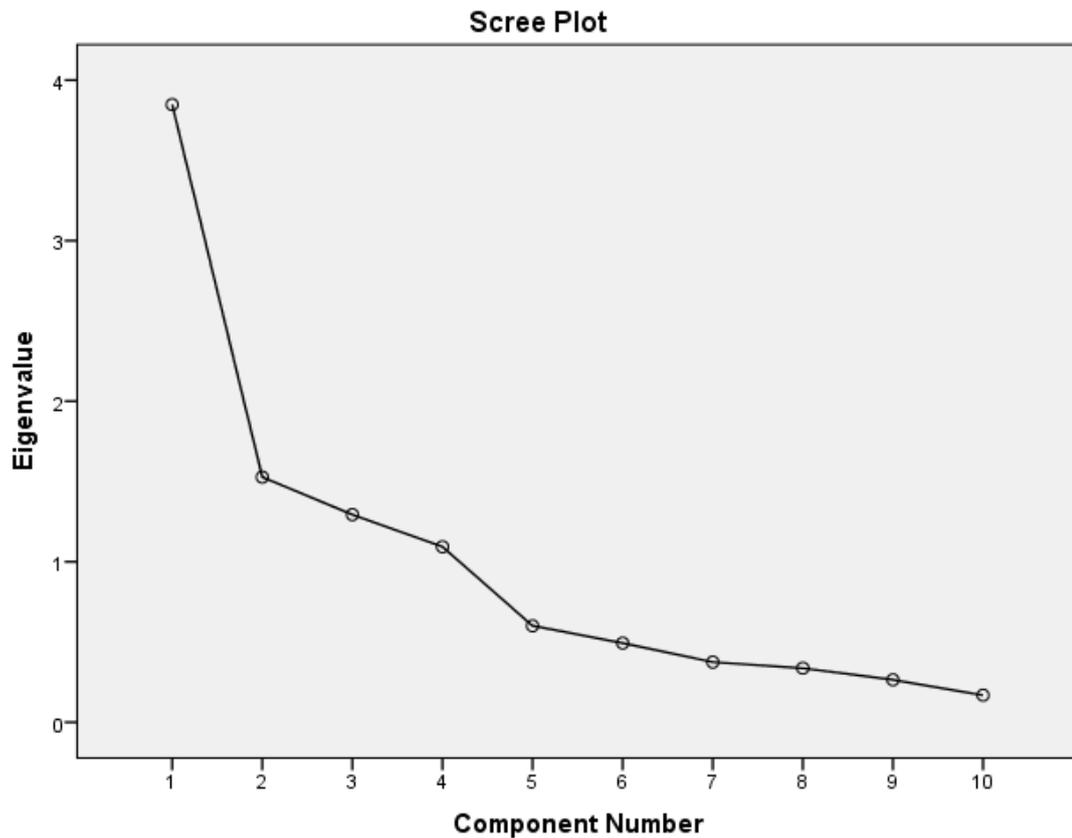
Figura 2 – Representação geoespacial dos atropelamentos em Cachoeira do Sul/RS



Fonte: Elaborado pela autora, no QGIS Desktop versão 3.10.1

O processo iterativo consistiu na eliminação das variáveis que possuíam baixa adequação ao modelo, conforme os critérios de procedimentos da técnica. No final, o modelo obteve o melhor ajuste com a permanência de 10 variáveis, o que representa a remoção de mais da metade das variáveis. O *Scree Plot* gerado do modelo consta na Figura 3, onde o gráfico mostra os autovalores (do inglês, *Eigenvalue*) no eixo y e o número de fatores (do inglês, *component number*) no eixo x. A curva descendente mostra o ponto onde a inclinação da curva está se nivelando e indica o número de fatores que devem ser gerados pela análise. Assim, é possível verificar que o melhor ajuste é com quatro fatores. A extração deles foi feita através da Matriz de Variância Total Explicada com uma variância acumulada de 77,62%.

Figura 3 – Gráfico linear dos autovalores dos fatores obtidos da AFE (*Scree Plot*)



Fonte: *output* do IBM SPSS Statistics.

Na Tabela 1 constam as cargas fatoriais e as comunalidades para os 4 fatores resultantes da aplicação da técnica. Para a interpretação das variáveis pertencentes aos fatores, são considerados os maiores valores absolutos para as cargas fatoriais (destacadas em **negrito**). As comunalidades indicam a porcentagem de variância explicada de cada variável quando agrupada no fator. Assim, o Fator 1 pode ser interpretado como as características do ambiente; Fator 2, relativos a características da via; Fator 3, as características do usuário; e Fator 4, características dos veículos, o que corrobora com o que sugere a literatura sobre os principais componentes do tráfego usuário, via, veículo e ambiente (SHINAR, 2011; TREAT et al., 1979). Esses resultados comprovam a validade do estudo e também a confiabilidade da aplicação da técnica para análise de dados em segurança viária.

Tabela 1 – Resultado das cargas fatoriais e as comunalidades da Análise Fatorial

Variável	Fator 1 (usuário)	Fator 2 (via)	Fator 3 (veículo)	Fator 4 (ambiente)	Comunalidades
V1 Sexo motorista	,829	-,039	,191	-,171	,755
V2 Idade motorista	,866	,110	-,016	-,075	,767
V3 Veículo envolvido	,170	,040	,916	-,010	,871
V4 Limite de velocidade	,164	,860	-,164	-,029	,794
V5 Tipo de via	-,196	,567	,380	-,404	,667
V6 N° de faixas de tráfego	-,006	,821	,186	-,259	,775
V7 Perfil socioeconômico	-,277	-,279	,066	,821	,833
V8 Tipo de área	,016	-,080	-,282	,841	,793
V9 Existência de calçada	-,129	-,326	,107	,770	,727
V10 Densid. Comércio e Serviços	-,083	-,004	-,025	,879	,779

No Fator 1 fica evidente que o perfil do usuário nos atropelamentos de pedestres não sofre influência do perfil do pedestre. Isso porque as características *idade pedestre* e *sexo pedestre* (que poderiam entrar nesse fator) foram eliminadas do modelo, o que mostra que os atropelamentos sofrem influências especificamente do perfil do condutor dos veículos, principalmente pela idade do motorista (variável *idade motorista* tem maior carga fatorial) seguida do *sexo* dos condutores, sendo que, conforme reportado na literatura, o comportamento dos condutores e o padrão de envolvimento em sinistros se diferencia com base nessas características (LAAPOTTI, 2005; LEE; ABDEL-ATY, 2005).

O Fator 2 descreve o perfil da via destinada aos veículos motorizados nos atropelamentos, determinada principalmente pelo *limite de velocidade* (maior carga fatorial), seguida do *número de faixas de tráfego* e o *tipo de via* – que implica no sentido (mão única ou duplo sentido) e número de faixas. Essas características, embora sejam relativas a via destinada ao tráfego de veículos, dizem respeito a fatores relacionados aos riscos da travessia de pedestres, e de acordo com a literatura a maioria dos sinistros envolvendo os pedestres ocorrem em situações de travessia, pois é o momento em que há um maior conflito entre os pedestres e os veículos (DAMSERE-DERRY et al., 2010; ELVIK et al., 2015). Esses resultados evidenciam que ações de segurança viária para os pedestres na cidade devem ser voltadas para a garantia de travessias mais seguras, com a aplicação de faixas de pedestres, tempos semafóricos para pedestres e diminuição de velocidades de operação associadas com medidas de *Traffic Calming* nas vias onde há uma maior circulação desses usuários (BASILE; PERSIA; USAMI, 2010; PRATO et al., 2019).

O Fator 3 corresponde ao perfil do veículo e apresenta apenas a variável *veículo envolvido* que caracteriza esses veículos, outras variáveis não foram agrupadas nesse fator em decorrência de poucas informações coletadas dos veículos, dada pela insuficiência dessas

informações nos BOs. A coleta de informações adicionais dos veículos, como ano do veículo (indicação de condições mecânicas e possíveis problemas) e situação dos documentos obrigatórios do veículo (impostos, taxas, revisões mecânicas, seguros, etc.) poderiam auxiliar na identificação dos fatores que influenciam na ocorrência de atropelamentos.

E, por fim, o Fator 4 corresponde as características do ambiente viário, que podem ser descritas como características que interferem nos deslocamentos a pé. A *Densidade de comércio e serviços* possui a maior carga fatorial, seguida do *tipo de área* – residencial ou comercial, e *perfil socioeconômico*, que são indicativos do comportamento de circulação de pedestres e veículos associadas a atividades econômicas. A variável *existência de calçada* é uma característica de infraestrutura destinada para a circulação dos pedestres, e pode ter sido associada ao ambiente viário, pois indica a existência dessa infraestrutura conforme as diferentes características do ambiente relacionadas a atividade comercial e renda. Os resultados desse *cluster* corroboram o que sugere a literatura sobre o aumento da exposição aos riscos estar associado à atratividade do ambiente, por isso a importância de priorizar os pedestres nos centros urbanos (AL-MADANI; AL-JANAHI, 2006; CLIFTON; KREAMER-FULTS, 2007; GITELMAN et al., 2012).

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Prover medidas para aumentar a segurança dos pedestres nas cidades é uma prática que precisa ser tomada para garantir um ambiente seguro para todos os usuários do sistema de trânsito. Identificar os fatores que contribuíram para a ocorrência dos sinistros de trânsito envolvendo os pedestres é o primeiro passo para verificar as intervenções que podem ser aplicadas como forma de promover a segurança viária nas cidades. Assim, esse artigo se propôs a explorar os fatores que contribuem para a ocorrência de atropelamentos na cidade de Cachoeira do Sul/RS/Brasil através da aplicação de uma Análise Fatorial Exploratória em um banco de dados das características de atropelamentos definidas conforme a literatura e obtidas mediante dados de Boletins de Ocorrência e dados adicionais do ambiente viário coletados a partir de ferramentas geoespaciais.

Os resultados da AFE evidenciaram a influência dos fatores conforme os principais componentes do sistema de trânsito, sendo eles, usuário, via, veículo e ambiente. Para o componente usuário, os fatores envolvidos foram relacionados as características como idade e sexo dos condutores dos veículos. Os fatores relacionados à componente via foram as características relacionadas a via dos veículos motorizados, como limite de velocidade, via de

mão única ou dupla e número de faixas, evidenciando a importância de medidas relacionadas a melhoria de segurança dos pedestres nas travessias.

O tipo de veículo foi a única variável relacionada ao componente veículo, isso porque não havia outras variáveis do modelo que se enquadrassem nas características dos veículos, devido às poucas informações dos veículos obtidas de BOs. Os fatores relacionados ao ambiente foram aqueles relacionados às características socioeconômicas e de atividade comercial, como densidade de comércios e serviços, perfil socioeconômico do bairro, tipo de área – comercial ou residencial, e existência de calçadas como um fator relacionado ao ambiente construído atuando como uma *proxy* de existência de infraestrutura para pedestres conforme a área.

A aplicação da AFE em conjunto com dados de sinistros de trânsito e coleta de dados do ambiente viário através de ferramentas geoespaciais se mostrou como uma metodologia alternativa para a análise de segurança viária. A identificação dos fatores que influenciam na ocorrência dos atropelamentos na cidade permitiu a visualização de possíveis medidas que podem ser aplicadas para a promoção de segurança viária. Como sugestões para trabalhos futuros, sugere-se que com base nos fatores contribuintes sejam identificados os perfis existentes de atropelamento de pedestres para que sejam adotadas políticas e ações efetivas. Além disso, os estudos podem ser beneficiados com a exploração de ferramentas geoespaciais para a representação espacial dos sinistros.

REFERÊNCIAS

AL-MADANI, H.; AL-JANAHI, A. Personal exposure risk factors in pedestrian accidents in Bahrain. **Safety Science**, v. 44, p. 335–347, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2005.10.009>>

ANDRADE, V.; LINKE, C. C. **Cidade de pedestres: A caminhabilidade no Brasil e no mundo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Babilonia Cultural Editorial, 2017, 240 p.

ANTP. **Relatório geral 2016: Sistema de Informações da Mobilidade Urbana**. São Paulo - Brasil: Agência Nacional de Transportes Públicos, 2018. Disponível em: <http://files.antp.org.br/si_mob/simob-2016-v6.pdf>. Acesso em: 8 set. 2019

BASILE, O.; PERSIA, L.; USAMI, D. S. A methodology to assess pedestrian crossing safety. **European Transport Research Review**, v. 2, n. 3, p. 129–137, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12544-010-0036-z>>

BRASIL. **Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997**. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Presidência da República, Casa Civil, Brasília, DF, 1997.

BRASIL. **Resolução CONTRAN n° 48 de 21 de maio de 1998**. Estabelece requisitos de instalação e procedimentos para ensaios de cintos de segurança de acordo com o inciso I do artigo 105 do Código de Trânsito Brasileiro. Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN, Brasília, DF, 1998.

CASTRO, F. et al. **Levantamento Calçadas do Brasil**. São Paulo: Mobilize Brasil Mobilidade Urbana Sustentável, Disponível em: <<https://www.mobilize.org.br/midias/pesquisas/calçadas-do-brasil---relatorio-inicial--abril-20121.pdf>> Acesso em: 10 set. 2019> . Acesso em: 16 set. 2019

CHAGAS, D. M. **Estudo sobre fatores contribuintes de acidentes de trânsito urbano**. 2011. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) –Universidade Federal Do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CHEN, P.; SHEN, Q. Built environment effects on cyclist injury severity in automobile-involved bicycle crashes. **Accident Analysis and Prevention**, v. 86, p. 239–246, 2016. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.11.002>>.

CHO, G.; RODRÍGUEZ, D. A.; KHATTAK, A. J. The role of the built environment in explaining relationships between perceived and actual pedestrian and bicyclist safety. **Accident Analysis and Prevention**, v. 41, n. 4, p. 692–702, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.03.008>>

CLIFTON, K. J.; KREAMER-FULTS, K. An examination of the environmental attributes associated with pedestrian-vehicular crashes near public schools. **Accident Analysis and Prevention**, v. 39, n. 4, p. 708–715, 2007. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.aap.2006.11.003>>.

DAI, D. Identifying clusters and risk factors of injuries in pedestrian-vehicle crashes in a GIS environment. **Journal of Transport Geography**, v. 24, p. 206–214, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.02.005>

DAI, D.; JAWORSKI, D. Influence of built environment on pedestrian crashes: A network-based GIS analysis. **Applied Geography**, v. 73, p. 53–61, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.06.005>>

DAMSERE-DERRY, J. et al. Pedestrians' injury patterns in Ghana. **Accident Analysis and Prevention**, v. 42, n. 4, p. 1080–1088, 2010. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.12.016>>

DING, C.; CHEN, P.; JIAO, J. Non-linear effects of the built environment on automobile-involved pedestrian crash frequency: A machine learning approach. **Accident Analysis and Prevention**, v. 112, n. Ago 2017, p. 116–126, 2018. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.12.026>>

ELVIK, R. The non-linearity of risk and the promotion of environmentally sustainable transport. **Accident Analysis and Prevention**, v. 41, n. 4, p. 849–855, 2009. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.04.009>>.

ELVIK, Rune *et al.* **O manual de medidas de segurança viária**. Madrid, Espanha: Fundación MAPFRE, 2015.

EVANS-COWLEY, J. Sidewalk Planning and Policies in Small Cities. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 132, n. 2, p. 71–75, 2006.

EWING, R.; SCHIEBER, R. A.; ZEGEER, C. V. Urban sprawl as a risk factor in motor vehicle occupant and pedestrian fatalities. **American Journal of Public Health**, v. 93, p. 1541–1545, 2003.

FÁVERO, L. *et al.* **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier: [s. n.], 2009. E-book.

FERRAZ, A. C. P. C. *et al.* **Segurança viária**. São Carlos-SP:[s. n.], 2012. E-book.

FERREIRA, D. F. **Análise Multivariada**. Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras, 1996. v. 1E-book. Disponível em:<<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000800009>>

FRIDMAN, L. *et al.* Driver and road characteristics associated with child pedestrian injuries. **Accident Analysis and Prevention**, v. 131, p. 248–253, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.07.007>>

GÅRDER, P. E. The impact of speed and other variables on pedestrian safety in Maine. **Accident Analysis and Prevention**, v. 36, n. 4, p. 533–542, 2004.

GITELMAN, V. *et al.* Characterization of pedestrian accidents and an examination of infrastructure measures to improve pedestrian safety in Israel. **Accident Analysis and Prevention**, v. 44, n. 1, p. 63–73, 2012. Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.11.017>>

GOMES, M. J. T. L. *et al.* Análise exploratória para a modelagem da frequência de acidentes de trânsito agregados ao nível de zonas de tráfego. **Transportes**, v. 23, n. 4, p. 42–50, 2015.

HAIR, J. F. JR *et al.* **Análise multivariada de dados**. 6 ed. Editora Bookman, 2009. 688 p.

HÅLAND, Y. The evolution of the three point seat belt from yesterday to tomorrow. In: INTERNATIONAL RESEARCH COUNCIL ON BIOMECHANICS OF INJURY, p. 3–15, 2006, Madrid - Espanha. **Anais...Madrid: IRCOBI**, 2006. Disponível em:<<http://www.ircobi.org/wordpress/downloads/irc0111/2001-2011-proceedings.htm>>.

IBGE. **Censo demográfico 2010: Características da população e dos domicílios**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011. Disponível em:<<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>.

JACOBSEN, P. L. Safety in numbers: More walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. **Injury Prevention**, v. 21, n. 4, p. 271–275, 2015. Disponível em:<<https://doi.org/10.1136/ip.9.3.205rep>>

LAAPOTTI, S. What are young female drivers made of? Differences in driving behavior and attitudes of young women and men. In: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD

CONFERENCE, 2005, Chicago, Illions – EUA. **Anais...Chicago: TRB**, 2005. Disponível em: <<http://www.trb.org/Main/Blurbs/156622.aspx>>.

LATIN NCAP. **Quem somos?**. Montivideo – Uruguai, 2014. Disponível em: <<https://www.latinncap.com/po/quem-somos>>. Acesso em: 11 jan. 2020.

LEE, C.; ABDEL-ATY, M. Comprehensive analysis of vehicle-pedestrian crashes at intersections in Florida. **Accident Analysis and Prevention**, v. 37, n. 4, p. 775–786, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.03.019>>.

LI, Y.; FAN, W. D. Modelling severity of pedestrian-injury in pedestrian-vehicle crashes with latent class clustering and partial proportional odds model: A case study of North Carolina. **Accident Analysis and Prevention**, v. 131, p. 284–296, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.07.008>>.

LOBJOIS, R.; BENGUIGUI, N.; CAVALLO, V. The effects of age and traffic density on street-crossing behavior. **Accident Analysis and Prevention**, v. 53, p. 166–175, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.028>>.

LOVASI, G. S.; GRADY, S.; RUNDLE, A. Steps Forward: Review and Recommendations for Research on Walkability, Physical Activity and Cardiovascular Health. **Public Health Reviews**, v. 33, p. 484–506, 2011. <<https://doi.org/10.1007/BF03391647>>

MCMAHON, P. et al. Analysis of Factors Contributing to “Walking Along Roadway” Crashes. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 1674, n. 1, p. 41–48, 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.3141/1674-06>>

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. 297 p.

MIRANDA-MORENO, L.; MORENCY, P.; EL-GENEIDY, A. M. The link between built environment, pedestrian activity and pedestrian-vehicle collision occurrence at signalized intersections. **Accident Analysis and Prevention**, v. 43, n. 5, p. 1624–1634, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.02.005>>

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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.11.001>>

OGDEN, K. W. **Safer roads** :A guide to road safety engineering. England: Ashgate: 1996.

PEDEN, M. et al. **World report on road traffic injury prevention**. Medical Journal Armed Forces India. Geneva, 2008. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/s0377-1237\(05\)80135-2](https://doi.org/10.1016/s0377-1237(05)80135-2)>

PERROW, C. **Normal accidents**: Living with high-risk technologies. Editora: Princeton University Press, 2011. 464 p.

PRATO, C. G. et al. Integrating police reports with geographic information system resources for uncovering patterns of pedestrian crashes in Denmark. **Journal of Transport**

Geography, v. 74, n. Out 2016, p. 10–23, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.10.018>>.

PRATO, C. G.; GITELMAN, V.; BEKHOR, S. Mapping patterns of pedestrian fatal accidents in Israel. **Accident Analysis and Prevention**, v. 44, n. 1, p. 56–62, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.12.022>>.

SASIDHARAN, L.; WU, K. F.; MENENDEZ, M. Exploring the application of latent class cluster analysis for investigating pedestrian crash injury severities in Switzerland. **Accident Analysis and Prevention**, v. 85, p. 219–228, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.09.020>>.

SHIMAKURA, S. **Estatística II**. Paraná: Editora UFPR, 2006. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/notes.html>>

SHINAR, D. **Traffic Safety and Human Behavior**. 2 ed. Amsterdam, Holanda: Editora Elsevier Science, 2011. 826 p.

SIDDIQUI, C.; ABDEL-ATY, M.; CHOI, K. Macroscopic spatial analysis of pedestrian and bicycle crashes. **Accident Analysis and Prevention**, v. 45, p. 382–391, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.08.003>>.

STEENBERGHEN, T.; AERTS, K.; THOMAS, I. Spatial clustering of events on a network. **Journal of Transport Geography**, v. 18, n. 3, p. 411–418, 2010.

STOKER, P. et al. Pedestrian Safety and the Built Environment: A Review of the Risk Factors. **Journal of Planning Literature**, v. 30, n. 4, p. 377–392, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/0885412215595438>>.

TREAT, J. et al. Tri-level study of the causes of traffic accidents. Executive summary. **Vision Research**, v. 42, n. 21, p. 2419–2430, 1979.

UKKUSURI, S. et al. The role of built environment on pedestrian crash frequency. **Safety Science**, v. 50, n. 4, p. 1141–1151, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.09.012>>.

ULFARSSON, G. F.; KIM, S.; BOOTH, K. M. Analyzing fault in pedestrian-motor vehicle crashes in North Carolina. **Accident Analysis and Prevention**, v. 42, n. 6, p. 1805–1813, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.05.001>>.

WELLE, B. *et al.* **Cities Safer by Design Report**. Washington, D.C, USA: World Resources Institute, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cld.2007.06.010>>.

WIER, M. L. 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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.10.001>>

WHO. **Pedestrian safety: A road manual for decision-makers and practitioners**. World Health Organization. Geneva: WHO Pres, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1001/jama.288.17.2212>>.

WHO ICD-11. **ICD-11 for Mortality and Morbidity Statistics**. World Health Organization, 2019. Disponível em: <<https://icd.who.int/browse11/f/en>>. Acesso em: 23 abr. 2020.

XIE, K. et al. Analysis of Traffic Crashes Involving Pedestrians Using Big Data: Investigation of Contributing Factors and Identification of Hotspots. **Risk Analysis**, v. 37, n. 8, p. 1459–1476, 2017. Disponível em:<<https://doi.org/10.1111/risa.12785>>.

4 ARTIGO 2 – PERFIL DOS ATROPELAMENTOS DE PEDESTRES E ANÁLISE DOS PONTOS CRÍTICOS EM UMA CIDADE DE PEQUENO PORTE

PROFILE OF PEDESTRIAN AND ANALYSIS OF HOTSPOTS CRASHES IN A SMALL CITY

Letícia Oestreich¹, Alejandro Ruiz-Padillo², Brenda Medeiros Pereira³

RESUMO

Os números da segurança viária nas cidades brasileiras evidenciam um grave problema que demanda de estudos e ações para promover a segurança dos usuários mais vulneráveis, como é o caso dos pedestres. Este estudo utiliza uma combinação de técnicas estatísticas de agrupamento e análises espaciais para a identificar os pontos críticos dos sinistros com base nos perfis dos atropelamentos para um caso de uma cidade brasileira de pequeno porte. Dados de sinistros de trânsito com vítimas envolvendo pedestres no período de 2015 a 2018 foram utilizados. Como resultados, foram identificados três perfis de atropelamentos, agrupados conforme os segmentos viários com características homogêneas, nos quais foram propostas possíveis intervenções de acordo aos fatores contribuintes a cada perfil. Os pontos críticos foram identificados pela técnica KDE, permitindo a visualização espacial dos corredores urbanos de alto risco de lesão de pedestres. Os resultados, além de prover observações para o estudo de caso aplicado em uma cidade de pequeno porte, demonstram que uma metodologia híbrida pode ser utilizada por autoridades públicas responsáveis para a promoção da mobilidade segura nas cidades.

Palavras-chave: Pedestres. Atropelamentos. Pontos críticos. Análise de agrupamentos

ABSTRACT

Road safety numbers in Brazilian cities present a great challenge and demands studies and actions to be adopted for promoting a safer environment to vulnerable road users, such as pedestrians. This study uses a combination of statistical grouping techniques and spatial analyzes to identify the hotspots based on pedestrian crashes profile for a case of small Brazilian city. Database included pedestrian crashes with victims from 2015 to 2018. As a result, three clusters of pedestrian crashes were identified in the city, according to road segments with homogeneous characteristics, to which contributing factors and proposed measures were analyzed. The hotspots in each cluster were identified by the KDE technique, allowing the spatial visualization of urban corridors with high risk for pedestrian injury. On top of contributing to the local case of study, this study presents a hybrid methodology that can be used by authorities to promote safer mobility in cities.

Keywords: Pedestrians. Crashes. Small city. Cluster analysis

¹Estudante, autora; Graduanda em Engenharia de Transportes e Logística pela Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul.

²Engenheiro Civil, orientador; Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de Granada (Espanha); Professor adjunto da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

³Engenheira Civil, co-orientadora; Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Professora adjunta da Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul.

4.1 INTRODUÇÃO

Os sinistros de trânsito são responsáveis pela morte de 1.35 milhão de pessoas anualmente, onde mais da metade das vítimas são os usuários mais vulneráveis do sistema de trânsito – pedestres, ciclistas e motociclistas. Além disso, nos países de menor renda, como é o caso do Brasil, as taxas de ocorrência de sinistros de trânsito são três vezes maiores (WHO, 2018). Esses dados motivaram a criação da Década de Ação da Segurança Viária 2011-2020 onde países signatários se comprometeram em reduzir pela metade os sinistros de trânsito. No entanto, os esforços não foram suficientes para atingir os objetivos propostos e em uma recente conferência houve a renovação da meta para 2020-2030, adicionando-se uma nova intenção: zerar o número de mortes por sinistros de trânsito até 2050 (WHO, 2020).

Esse último baseia-se em um conceito que tem os princípios no sistema sueco Visão Zero (do inglês, *Vision Zero*), o qual defende que nenhuma morte por sinistro de trânsito é aceitável. Os erros humanos são inevitáveis, contudo, suas falhas não devem comprometer a vida das pessoas. Assim, os desenhos das ruas devem ser projetados de modo de que se possa “perdoar” esses erros. Nessa perspectiva, os engenheiros de trânsito, planejadores e tomadores de decisão também se tornam responsáveis pela segurança no trânsito, tendo o dever de projetar ambientes urbanos mais seguros (TINGVALL; HAWORTH, 1999).

Nesse contexto, cidades projetadas para servir as necessidades dos pedestres, ciclistas e usuários do transporte coletivo em detrimento do transporte motorizado individual são cidades que garantem a proteção de todos os usuários das vias, tornando-as seguras e sustentáveis (WELLE et al., 2015). No entanto, o planejamento da mobilidade nas cidades brasileiras das últimas décadas tem deixado as necessidades dos pedestres um pouco de lado, tendo como resultado infraestruturas de calçadas precárias ou até mesmo inexistentes (ANDRADE; LINKE, 2017). Estudos têm focado suas forças para a identificação dos riscos relacionados à ocorrência de sinistros de trânsito envolvendo pedestres, como forma de propor medidas voltadas para a segurança viária (CHO; RODRÍGUEZ; KHATTAK, 2009; DAI; JAWORSKI, 2016; MOHAMED et al., 2013; STOKER et al., 2015). No entanto, há uma precariedade de estudos voltados às cidades de pequeno porte, que acabam por terem dificuldades de implementar

medidas voltadas à mobilidade ativa por falta de incentivo e corpo técnico especializado (EVANS-COWLEY, 2006).

Assim, este estudo tem como objetivo identificar os pontos críticos dos sinistros de trânsito envolvendo pedestres com base nos perfis de atropelamentos identificados em Cachoeira do Sul, uma cidade brasileira de pequeno porte, localizada no interior do estado do Rio Grande do Sul. Para tanto, um banco de dados característico dos sinistros de trânsito com vítimas envolvendo pedestres na cidade, obtido de Boletins de Ocorrência no período de 2015-2018, em conjunto com características viário-ambientais, coletadas através de ferramentas geoespaciais, são explorados mediante uma Análise de Agrupamentos. Adicionalmente, uma Estimativa da Densidade de Kernel é aplicada para a geração de mapas de calor que permitem a visualização espacial dos pontos de maior risco de sinistros. Os resultados desse estudo dão suporte para a adoção de medidas públicas para melhorar segurança viária dos pedestres.

4.2 FATORES VIÁRIO-AMBIENTAIS ASSOCIADOS À OCORRÊNCIA DE SINISTROS DE TRÂNSITO

Como forma de compreender a ocorrência de sinistros de trânsito, diversas Teorias da Causa dos Acidentes (do inglês, *Theories of Accident Causation*) foram estudadas durante décadas para explicar o fenômeno. A Teoria dos Sistemas obteve mais sucesso ao explicar a causa dos sinistros, defendendo o conceito de que um sinistro de trânsito ocorre pela atuação em conjunto de diversos fatores relacionados aos componentes do sistema de trânsito – usuário, via, veículo e o ambiente que engloba os demais componentes (PERROW, 2011; TREAT et al., 1979).

No entanto, a literatura reporta que, dentre os fatores, aqueles relacionados ao comportamento humano contribui de forma mais significativa na ocorrência dos sinistros, em virtude do comportamento dos usuários das vias (EVANS, 2004). Por isso, é necessário que os ambientes viários se adaptem às capacidades humanas de operação, para que as chances de ocorrer um sinistro de trânsito sejam reduzidas. Essa proporcionalidade entre o desempenho dos motoristas e das características das vias é mantida através de um equilíbrio do sistema (SHINAR, 2011; TREAT et al., 1979). Sendo assim, a atuação da engenharia na promoção de ambientes viários mais seguros se torna importante como forma de contribuir para o equilíbrio do sistema (STOKER et al., 2015).

Caminhar é a forma mais básica de se deslocar nas cidades e é um modo de transporte democrático, pois permite a mobilidade independente de jovens e idosos. No entanto, muitas

vezes as necessidades dos pedestres são negligenciadas dentro dos projetos urbanos (ANDRADE; LINKE, 2017) e acabam sendo expostos diariamente aos riscos de sinistros de trânsito (LEE; ABDEL-ATY, 2005). A literatura reporta que a relação entre as características volume de tráfego, fluxo de pedestres e velocidade de operação dos veículos determina a exposição do risco de pedestres, sendo assim, são estimados os efeitos indiretos dessas características com base em fatores viário-ambientais (JACOBSEN, 2015; MIRANDA-MORENO; MORENCY; EL-GENEIDY, 2011; MOHAMED et al., 2013; UKKUSURI et al., 2012).

Os sinistros de trânsito envolvendo pedestres ocorrem, em sua maioria, nas situações em que o pedestre está atravessando a rua (DAMSERE-DERRY et al., 2010; ELVIK et al., 2015; GITELMAN et al., 2012), isso porque é nesse momento em que há uma maior interação entre pedestres e veículos motorizados, o que aumenta consideravelmente os riscos (ELVIK et al., 2015). Por isso, é necessário que projetos viários contemplem a travessia segura de pedestres, de forma que características como a presença de faixas de pedestres bem sinalizadas e ilhas de refúgio dão uma maior garantia de segurança ao pedestre (MIRANDA-MORENO et al., 2011; UKKUSURI et al., 2012), além da presença de calçadas – infraestrutura essencial para o deslocamento de pedestres (HWANG; JOH; WOO, 2017).

Por outro lado, há evidências de que características das vias destinadas à circulação de veículos motorizados interferem no aumento dos riscos de ocorrer um sinistro de trânsito (GITELMAN et al., 2012; PRATO et al., 2019; UKKUSURI et al., 2012). Vias com mais de duas faixas de tráfego e com largura elevada aumentam a probabilidade de colisão entre pedestres e veículos (LEE; ABDEL-ATY, 2005; UKKUSURI et al., 2012), assim como limites de velocidades altos aumentam potencialmente a gravidade das lesões de pedestres (DAI, 2012; DAMSERE-DERRY et al., 2010; GITELMAN et al., 2012).

Para Lee e Abdel-Aty (2005) na Flórida, estradas não divididas com maior número de faixas estavam mais associadas aos sinistros de trânsito envolvendo pedestres do que estradas divididas com menor número de faixas. O estudo de Gitelman et al. (2012) constatou que em Israel 80% dos sinistros envolvendo pedestres ocorriam em vias arteriais localizadas na região central das cidades. Por outro lado, conforme Dai (2012) a mistura vias locais com rodovias urbanas – que suportam um volume intenso de veículos à velocidades altas, caracterizam-se como corredores urbanos de alto risco para sinistros envolvendo pedestres.

Sob outra perspectiva, características ambientais como o uso do solo (comercial, residencial) e perfil socioeconômico também interferem na ocorrência de sinistros de trânsito. Regiões com uma maior fração de indústrias e comércios aumentam as chances de sinistros

envolvendo pedestres, enquanto que áreas residenciais são mais seguras (UKKUSURI et al., 2012). Isso ocorre, pois, zonas residenciais estão associadas a limites de velocidades menores e menor atividade de pedestres, diferentemente das zonas comerciais. Conforme Hwang, Joh e Woo (2017) em seu estudo sobre segurança viária em entornos escolares, comércios e serviços próximos às escolas podem prejudicar a segurança de pedestres infantis. O estudo também constatou que crianças que residem em áreas de baixa renda apresentam pouca ou nenhuma segurança contra os riscos de sinistros de trânsito, associado principalmente pela falta de calçadas e faixas de pedestres bem projetadas.

4.3 PROMOÇÃO DA SEGURANÇA VIÁRIA PARA OS PEDESTRES

Embora os pedestres estejam expostos a maiores riscos devido a sua vulnerabilidade, experiências na literatura não encontraram relação entre a promoção de viagens a pé e o aumento dos sinistros envolvendo esses usuários (JENSEN, 2008). As evidências sugerem na verdade que incentivar a mobilidade garante a segurança desses usuários. Esse fenômeno é conhecido como *Safety in numbers* (em português: segurança em números), o qual se sustenta na ideia de que a probabilidade de um pedestre ser atropelado por um carro é inversamente proporcional à quantidade de pessoas caminhando ou andando de bicicleta na via (JACOBSEN, 2015).

Assim, cidades projetadas para servir as necessidades dos pedestres, ciclistas e usuários do transporte coletivo em detrimento do transporte motorizado individual são cidades que garantem a proteção de todos os usuários das vias, tornando-as seguras e sustentáveis (WELLE et al., 2015). Para se promover viagens por modos de transportes mais sustentáveis e reduzir o uso de veículos motorizados através da mudança da forma urbana, utiliza-se o conceito dos 5D's do ambiente construído propostos por Ewing e Cervero (2010), que são:

- a) *Density* (densidade): remete à ideia de que ambientes mais densos em termos de população são mais compactos e isso reduz as distâncias de caminhada.
- b) *Diversity* (diversidade): ambientes com uso misto do solo que apresentem diversidade de comércios misturadas com residências incentivam a caminhada.
- c) *Design* (desenho): maior qualidade no desenho urbano, áreas verdes, mobiliário e fachadas ativas tornam o ambiente atrativo para viagens a pé.
- d) *Distance* (distância ao transporte coletivo): diz respeito à proximidade de transporte coletivo para que diferentes destinos possam ser alcançados.

e) *Destination* (acessibilidade ao destino): possibilidade de acessar diferentes destinos como centros de comércios ou de trabalho a uma distância caminhável.

Políticas voltadas ao planejamento urbano orientado ao transporte sustentável têm sido conhecidas como *Transit-Oriented Development* (TOD), em tradução livre Desenvolvimento Orientado ao Transporte, referem-se a um planejamento orientado ao incentivo do transporte público e criação de ambientes propícios para os pedestres. Desenvolvimento compacto e uso misto do solo, facilidade para os pedestres e acesso próximo ao transporte público são elementos essenciais de ambientes caracterizados como TODs (BELZER; AUTLER, 2002).

Contudo, a segurança viária para os pedestres não se garante somente com a promoção de viagens a pé ou de bicicleta, também é necessário que sejam aplicadas medidas de engenharia que gerenciem os conflitos provocados pelo compartilhamento do espaço entre os pedestres e o tráfego motorizado (GITELMAN et al., 2012). Um dos principais agravantes dos atropelamentos é a velocidade da colisão, assim, medidas para reduzir a velocidade contribuem significativamente para a redução da severidade dos sinistros (ELVIK et al., 2015). Tais medidas são conhecidas como Medidas de Moderação do Tráfego (em inglês, *Traffic Calming Measures*), que buscam restringir a velocidade dos veículos em um determinado local e incentivar as viagens não motorizadas através da promoção de infraestrutura destinada ao pedestre e reforço da sinalização viária (WEBSTER, 1998).

Segundo o manual *Cities Safer by Design*, os seis princípios que devem conter em projetos viários que objetivam promover a segurança viária (WELLE et al., 2015), são:

- a) Redução das viagens veiculares: promover o uso misto do solo, quadras menores, atividades ao ar livre e serviços públicos próximos.
- b) Medidas de moderação do tráfego: uso de lombadas, chicanas, estreitamento de vias, ilhas de refúgio, rotatórias, vias compartilhadas.
- c) Garantia da segurança em vias arteriais: redução de distâncias de travessia, adoção de fases semaforicas para pedestres, instalação de ilhas de refúgio e canteiros centrais, movimentos seguros de conversão e alinhamento de faixas.
- d) Rede de infraestrutura conectada: vias acessíveis e próprias para bicicletas, que incluam redes de ciclofaixas ou ciclovias conectadas. Redução de conflitos entre ciclistas e veículos nas interseções.
- e) Acesso a espaços públicos: prover espaço de qualidade para pedestres nas calçadas e no ambiente viário, assim como acesso a parques, praças, escolas e a outros espaços públicos importantes.

- f) Acesso seguro ao transporte coletivo: evitar parcialmente as barreiras físicas, ambiente de integração seguro.

4.4 METODOLOGIAS PARA ANÁLISE EM SEGURANÇA VIÁRIA

A modelagem baseada em histórico de sinistros de trânsito tem se mostrado como importante ferramenta para o estudo da segurança viária. Os Modelos de Previsão de Acidentes (em inglês, *Safety Performance Functions*) são utilizados para a quantificação da frequência de sinistros em função da exposição ao risco dada pela análise de um conjunto de variáveis consideradas no modelo (AASHTO, 2010). Para o desenvolvimento de modelos de previsão de frequência de sinistros, autores reportam a utilização de modelos de regressão como Binomial Negativo e Regressão de Poisson (DAI; JAWORSKI, 2016; DAMSERE-DERRY et al., 2010; DING; CHEN; JIAO, 2018; OLSZEWSKI et al., 2015; SHEYKHFARD; HAGHIGHI, 2019). Existe uma discussão acerca de qual modelo é o mais recomendado, contudo, o Modelo Binomial Negativo e suas derivações têm sido os mais indicados em decorrência de sua melhor performance nas análises em segurança viária (UKKUSURI et al., 2012). Os modelos de severidade dos sinistros utilizam como base os modelos de escolha discreta, como modelos *logit* ou *probit*, e há também uma divisão acerca da utilização ordenada ou não dos dados nas análises, conforme reportado por Torres (2016).

Recentemente houve a inserção de Técnicas de Mineração de Dados (em inglês, *Data Mining Techniques*) para as análises estatísticas dos sinistros (DAI, 2012; LI; FAN, 2019; MOHAMED et al., 2013; PRATO; GITELMAN; BEKHOR, 2012; SUN; SUN; SHAN, 2019). Essa metodologia tem sido empregada em outras áreas científicas há alguns anos, reconhecida principalmente pela sua aplicação na área empresarial, respectivamente no gerenciamento de marketing e relacionamento com clientes (NGAI; XIU; CHAU, 2009). Uma das principais vantagens é a habilidade em avaliar uma quantidade grande de dados, fornecendo relações, padrões, perfis, correlações entre dados, e auxiliando no processo de tomada de decisões acerca do assunto em questão (GALVÃO; DE FÁTIMA MARIN, 2009).

O estudo de Mohamed et al. (2013) fez uso de uma modelagem de regressão combinada com análises de agrupamentos para identificar os principais fatores contribuintes associados aos níveis de severidade de lesões com pedestres envolvendo veículos. A análise de agrupamento utilizada foi a *Latent Class Analysis* (LCA - em português, Análise de Classes Latentes) e *K-means*. O estudo de Li e Fan (2019) também aplicou a LCA como forma de classificar os sinistros com diferentes características de distribuição de fatores contribuintes

para os sinistros envolvendo pedestres e veículos. Por outro lado, *Kohonen Neural Networks* (em português, Redes Neurais de Kohonen) foram utilizadas no agrupamento de dados de sinistros no estudo de Prato, Gitelman e Bekhor (2012) para identificar os padrões de sinistros fatais envolvendo pedestres em Israel.

A análise de agrupamento contribuiu para o conhecimento geral sobre sinistros de trânsito envolvendo os pedestres. As descobertas envolveram, por um lado, resultados sobre as diferentes realidades das perspectivas geográfica e social e, por outro, fornecem uma nova visão sobre os padrões de atropelamentos de pedestres que podem ser tratados com uma abordagem sistemática para projetar medidas preventivas eficazes (DAI, 2012; PRATO et al., 2012).

4.4.1 Tratamento dos dados de sinistros de trânsito

O tratamento dos sinistros de trânsito, segundo uma varredura de experiências nacionais feita pelo Ministério dos Transportes (2002), é feito através de cinco linhas de atuação, sendo elas:

- a) Pontos críticos (*hotspots*): locais onde há uma maior concentração de sinistros quando comparada a outros locais, podendo ser uma interseção ou um segmento entre interseções. A identificação desses pontos é comumente feita para a localização de locais que devem receber com prioridade algum tratamento para a melhoria da segurança viária.
- b) Segmentos críticos ou rotas críticas: referem-se a extensões de vias urbanas ou rurais nos quais ocorre uma frequência alta de sinistros. O tratamento no segmento da via deve ser feito considerando o problema de insegurança viária como um todo e também considerando suas áreas adjacentes.
- c) Área crítica: concentrações de sinistros que formam “manchas urbanas” comumente associadas a áreas que possuem uma concentração de comércios e serviços em uma cidade.
- d) Solução-tipo: aplicação de determinada medida de engenharia de tráfego que possui eficácia comprovada para a redução da taxa ou grau de ocorrência do sinistro de trânsito em uma rede viária com características físicas e operacionais semelhantes daquelas em que se obteve resultados satisfatórios. Assim, espera-se que o desempenho seja semelhante ao alcançado em outras aplicações. Como exemplos típicos de soluções-tipo com eficácia comprovada quando corretamente aplicadas destacam-se: mini-rotatórias, iluminação de faixas de pedestres e fiscalização eletrônica.

e) Tipo de usuário: as medidas preventivas dos sinistros de trânsito concentram-se a apenas um usuário da via (exemplo: pedestres, ciclistas, idosos, etc.). Adotam-se estratégias desse tipo quando são evidenciados níveis elevados de sinistros de trânsito envolvendo o usuário em estudo.

Para a representatividade dos sinistros é comum a utilização de recursos espaciais para a caracterização geográfica deles, fazendo-se uso de ferramentas do tipo SIG. Segundo Ferraz et al. (2012), esses sistemas permitem a geração de mapas temáticos dos sinistros, podendo-se identificar a distribuição espacial e os pontos de concentração de sinistros de trânsito. Uma das ferramentas espaciais mais usuais para identificar zonas de alta densidade de sinistros de trânsito é metodologia *Kernel Density Estimation* (KDE - em português: estimativa da densidade de Kernel). Nessa técnica são calculadas as densidades com base no número de sinistros com base na dependência espacial, assim, compreende-se que a densidade formada nesses pontos (*hotspots*) tem uma relação com a probabilidade de ocorrência de um sinistro (ANDERSON, 2009; BAILEY e GATRELL, 1995; FOTHERINGHAM et al.,2000).

4.5 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos para a obtenção dos perfis são descritos detalhadamente nessa seção. Uma análise de agrupamentos foi aplicada a um banco de dados de características viário-ambientais dos atropelamentos de pedestres. Adicionalmente, recursos geoespaciais são utilizados para a visualização dos atropelamentos através da criação de mapas de calor.

4.5.1 Dados dos sinistros de trânsito envolvendo pedestres e suas características

Os perfis de atropelamentos foram definidos com base em características viário-ambientais compreendidas como fatores contribuintes dos sinistros de trânsito com vítimas envolvendo pedestres ocorridos no período de 2015-2018 na cidade de Cachoeira do Sul/RS. Os fatores viário-ambientais contribuintes dos sinistros foram definidos conforme uma revisão na literatura e ajustados no modelo apresentado no Artigo 1. Como forma de evitar uma ponderação desproporcional entre as variáveis que são multicolineares em cada fator obtido no Artigo 1, na análise de agrupamentos, optou-se em focar nas variáveis que descrevem características do ambiente (Fator 4) e da via (Fator 2). Como a representatividade das variáveis nos fatores é equilibrada evita-se o impacto da multicolinearidade nas análises, podendo

promover medidas do ponto de vista da engenharia de transportes, atuando respectivamente nas características viário-ambientais.

Assim, para as análises de agrupamento foram utilizadas 7 variáveis estatísticas de agrupamento. As variáveis são aquelas apresentadas no Quadro 1, onde é possível verificar as classes e a forma de coleta das mesmas.

Quadro 1 – Características viário-ambientais dos atropelamentos de pedestres

Variável	Descrição dos níveis	Fonte de Coleta
Limite de velocidade da via	30 km (1); 40 km (2); 60 km (3)	BO e GIS
Tipo de via	Mão única (1); em dois sentidos não dividido (2); em dois sentidos dividido (3)	SIG
Número de faixas de tráfego	Uma faixa (1); Duas faixas (2); Quatro faixas (3)	SIG
Existência de calçada	Não (1); Sim (2)	SIG
Tipo de área	Residencial (1); comercial (2)	SIG
Perfil socioeconômico	Menos de 1 salário mínimo (1); 1 até 2 salários (2); 2 até 3 salários (3); 3 salários ou mais (4)	SIG e IBGE (2011)
Densidade de comércios e serviços	< 30 comércios/km ² (1); entre 30 a 60 comércios/km ² (2); 60 a 90 comércios/km ² (3); mais de 90 comércios/km ² (4)	SIG e SMIC

Quanto as fontes de coleta dos dados, as características foram obtidas de acordo aos Boletins de Ocorrência (BO), e exploração de ferramentas de Sistema de Informação Geográfica – SIG, especificamente ao QGIS e seus complementos. Adicionalmente foram utilizados dados de renda do IBGE (2011) e de comércios e serviços da Secretaria Municipal de Indústria e Comércio da cidade. As variáveis: *limite de velocidade*, *tipo de via*, *número de faixas de tráfego*, *existência de calçada* e *tipo de área* são características coletadas conforme o endereço das coordenadas geográficas de cada sinistro, enquanto que o *perfil socioeconômico* e a *densidade de comércios e serviços* referem-se a características do bairro em que cada sinistro ocorreu.

4.5.2 Análise de Agrupamentos

Análise de Agrupamentos (em inglês, *Cluster Analysis ou Clustering*) é o termo empregado para designar os vários métodos numéricos de análise de dados multivariados que correspondem a técnicas de mineração de dados cujo objetivo é descobrir grupos homogêneos de objetos (CASTRO; FERRARI, 2016). A formação desses grupos, segundo Hair et al. (2009)

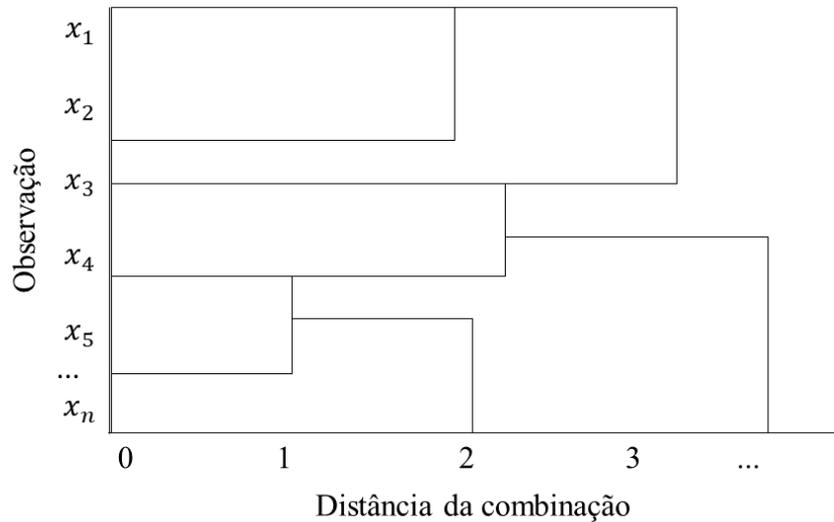
é feita com base na similaridade entre as características que os objetos analisados possuem. Assim, o método permite a identificação de perfis de grupos dentro de uma população de estudo.

O conjunto de características usadas para comparar os objetos recebe a denominação de Variáveis Estatísticas de Agrupamento e elas determinam o carácter do objeto. Sendo assim, o agrupamento resultante deve assumir uma alta homogeneidade dentro dos grupos e alta heterogeneidade externa (entre os agrupamentos). O processo de agrupamento dos objetos é feito com base em uma medida de similaridade, que representa o grau de correspondência medido entre os objetos com base nas características definidas. É importante ressaltar que as variáveis de agrupamento devem seguir um rigor conceitual na sua definição para que as estruturas formadas sejam validadas, isso porque a adição ou eliminação de variáveis podem ter impactos significativos nos resultados, por isso, devem ser bem estruturadas antes de iniciar o processo de agrupamento (CASTRO; FERRARI, 2016; HAIR et al., 2009).

A formação dos grupos pode ser feita através de heurísticas de agrupamento, as divisões mais comuns são entre os métodos hierárquico e não-hierárquico. Segundo Hair et al. (2009) os métodos hierárquicos são os mais populares, sendo o método de Ward e a ligação média os mais usuais. O processo de decomposição hierárquica pode ser feito por técnicas aglomerativas ou divisivas, apesar dessas partições, o método Aglomerativo é mais comumente utilizado em pacotes computacionais de ferramentas estatísticas (HAIR et al., 2009). O método hierárquico aglomerativo parte do princípio de que cada objeto corresponde a um grupo, e unem sucessivamente a outros objetos formando grupos conforme a proximidade entre eles (CASTRO; FERRARI, 2016).

Para representar os resultados da análise de agrupamento é comumente utilizado um dendograma, que representa fusões em níveis sucessivos. Um modelo de dendograma pode ser visto na Figura 1. A estrutura do dendograma é em formato de uma árvore, a escalonamento respeita o critério de que menores distâncias de combinação indicam uma maior homogeneidade entre as observações agrupadas (HAIR et al., 2009).

Figura 1– Modelo de dendograma para análise de *cluster* hierárquico



Fonte: Elaborado pela autora, baseado em Hair et al. (2009).

Nos métodos não hierárquicos, uma das principais diferenças está na necessidade de definir o número de grupos de forma *ad-hoc*, devendo, portanto, o pesquisador ter o número de *clusters a priori*. O algoritmo de *K-means* é um dos métodos não hierárquico de agrupamento mais popular entre as técnicas de mineração de dados. O objetivo do método é minimizar a distância entre o conjunto de n objetos dado um número k de grupos que é informado *a priori* pelo pesquisador. A similaridade é medida através do valor médio dos objetos em um grupo. O processo consiste na alocação iterativa de cada objeto a um respectivo grupo através de uma função de custo base (f_c), definida conforme a equação 1 (CASTRO; FERRARI, 2016).

$$f_c = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in g_i} d(x, c_i) \quad (1)$$

A equação faz a soma da distância de cada objeto ao centroide do grupo ao qual pertence, onde x é um objeto qualquer da base, c_i é o centroide do agrupamento g_i , e a distância entre o objeto e o centroide é representada por $d(x, c_i)$.

Cada uma das abordagens hierárquica e não hierárquica possui vantagens e desvantagens e a escolha do método adequado depende das características e os objetivos do problema. No entanto, Hair et al. (2009) aconselha a combinação das duas metodologias como uma forma de se beneficiar das vantagens de cada uma. O procedimento consiste em aplicar primeiramente um método hierárquico para determinar as soluções preliminares do agrupamento, referentes ao número de agrupamentos e os centros de agrupamento.

Posteriormente, um método não hierárquico é aplicado utilizando-se desses dados como base para se obter alocações de grupos de forma mais precisa, reduzindo, portanto, o número de iterações da técnica e obtendo-se uma solução final.

Quanto as exigências estatísticas, as análises de *Clustering* possuem fortes relações matemáticas, no entanto, não abstem de fortes rigores estatísticos como as exigências de normalidade, linearidade e homocedastidade. Por outro lado, deve-se garantir a representatividade da amostra, e também é preciso se atentar para o impacto da multicolinearidade nas variáveis de agrupamento. Como forma de verificar se as variáveis são multicolineares pode-se utilizar uma Análise Fatorial Exploratória cujo objetivo é identificar fatores entre as variáveis de análise, nesse momento o pesquisador deve garantir o equilíbrio do número de variáveis nos fatores, para evitar que ponderações implícitas provoquem impactos ocultos nas análises de agrupamento (HAIR et al., 2009).

4.5.3 Metodologia para identificar os pontos críticos dos perfis de atropelamentos

O método para identificar os pontos críticos utilizado neste trabalho é a estimativa de densidade de Kernel (KDE). Essa técnica consiste em criar uma área circular (*kernel*), com base em uma largura de banda (também chamada de raio) que deve ser pré-definido, em cada ponto em que o indicador é observado. Assim, o método avalia a distância do ponto até um local de referência, em seguida soma o valor para todas as superfícies desse local de referência, repetindo esse procedimento sucessivamente aos demais pontos. A fórmula matemática que descreve esse processo é apresentada na Equação 2 (FOTHERINGHAM et al., 2000).

$$f(x, y) = \frac{1}{nh^2} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{d_i}{h}\right) \quad (2)$$

Onde $f(x, y)$ é a estimativa de densidade no local definido pelas coordenadas x e y ; o número de observações representado por n ; o raio por h , K é a função de Kernel, e d_i é a distância entre o local (x, y) . O raio é um dos critérios mais importantes, pois ele que definirá a dimensão da superfície de densidade calculada. No entanto, ainda não se tem um valor fundamentalmente definido, sendo assim, o processo de decisão da escolha dele é de caráter subjetivo (ANDERSON, 2009; BAILEY e GATRELL, 1995; TORRES et al., 2016). Assim, para fins metodológicos, foi definido um raio de 200 metros – metade do valor da unidade residencial definida para as análises em mobilidade ativa (PATRICIOS, 2002).

4.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para identificar o perfil dos sinistros de trânsito envolvendo os pedestres empregou-se o método não hierárquico combinado com o método hierárquico de *K-means*. O resultado do método não hierárquico representado em um dendograma consta no Anexo A deste trabalho. Com ele, foi possível estabelecer a relevância de cada agrupamento possível a partir do exame dos perfis de cada solução das variáveis. Através de uma análise da regra de parada visual, foram identificadas três soluções possíveis (com dois, três e quatro agrupamentos) como candidatas para o conjunto preliminar de soluções a serem consideradas na análise não-hierárquica.

Em seguida, foi empregado o método não-hierárquico de *K-means* para o conjunto de soluções preliminares como forma de avaliar qual é a solução ótima em termos de validação da análise para o problema de pesquisa. Essa etapa consistiu na análise no contexto conceitual do problema, como também na estatística descritiva dos dados e sua representatividade nos grupos formados, como forma de definir qual a solução que melhor descreve os perfis de atropelamentos de pedestres. A solução ótima foi considerada aquela com valor de $k = 3$.

Os resultados da solução ótima dos agrupamentos são apresentados na Tabela 1. Esses resultados mostram que os atropelamentos de pedestres na cidade do estudo podem ser agrupados em três tipos conforme as características coletadas (variáveis estatísticas de agrupamento). De uma maneira geral, o conjunto de variáveis em cada *cluster* forma um agrupamento característico único onde as distâncias de agrupamento dentro desses grupos são mínimas. No entanto, a variável *Tipo de via* apresentou a mesma classe para todos os *clusters*, isso pode ter ocorrido pela predominância de vias de dois sentidos não separados na base de dados em relação às demais (78,6%). Assim, ao agrupar as variáveis de forma a minimizar as distâncias do conjunto de variáveis dentro de cada *cluster*, o modelo sofre influência dessa classe de variável nos agrupamentos.

Com base nos perfis de atropelamentos obtidos, foi gerado um mapa geoespacial para a representação dos atropelamentos diferenciando-os conforme o *cluster* ao qual pertencem (Figura 2) criado através do QGIS Desktop, uma ferramenta SIG para análises espaciais. As vias destacadas em negrito se referem a algumas das principais vias para circulação na cidade, assim dando suporte para a aplicação da KDE, que foi feita através da ferramenta de criação de Mapas de Calor pela estimativa de densidade de Kernel no QGIS.

Tabela 1 – Resultado final do agrupamento pelo método de *K-means*

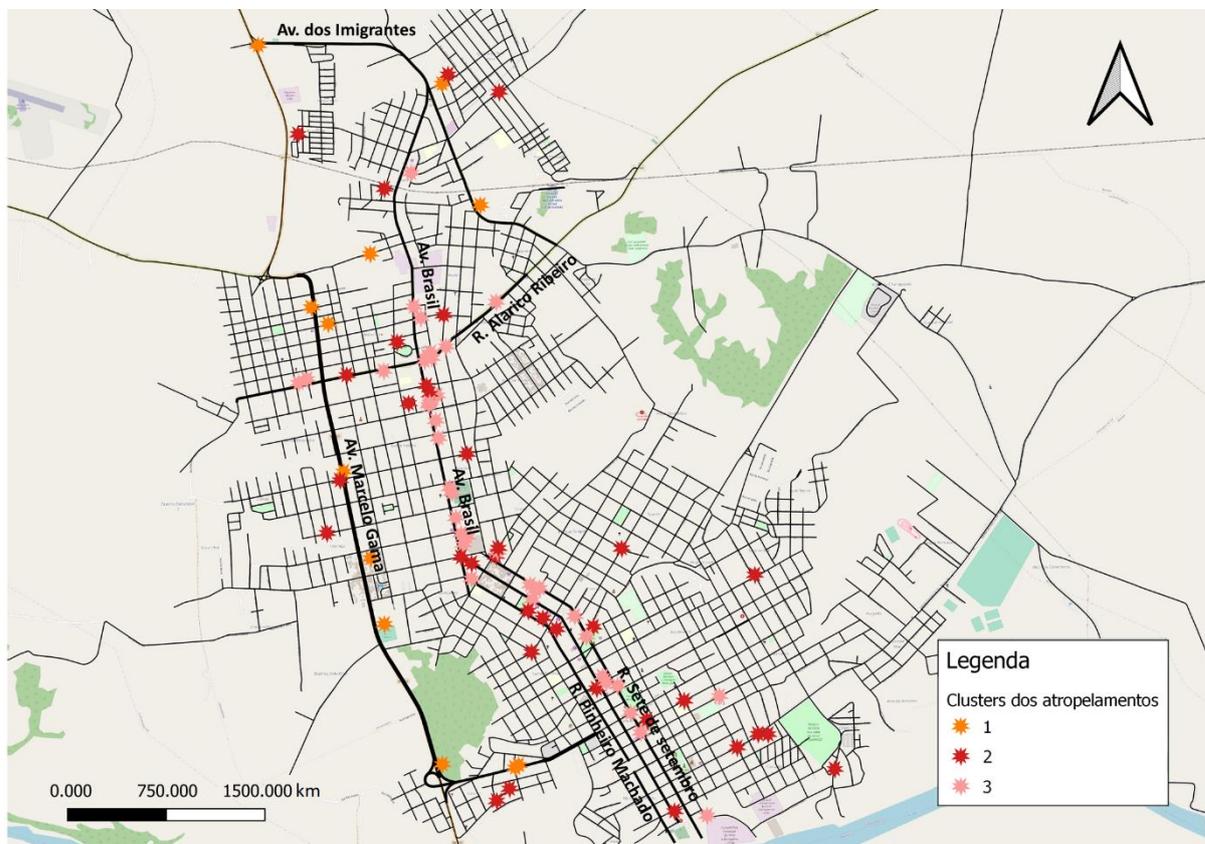
Variáveis estatísticas de agrupamento	<i>Cluster 1</i>	<i>Cluster 2</i>	<i>Cluster 3</i>
Perfil socioeconômico (n° salários mínimos)	<1	1 a 2	2 a 3
Tipo de área	Residencial	Residencial	Comercial
Existência de calçada	Não	Sim	Sim
Densidade de comércios e serviços (und/km ²)	< 30	30 a 60	> 90
Número de faixas de tráfego	4	2	2
Tipo de via	Dois sentidos não separados	Dois sentidos não separados	Dois sentidos não separados
Limite de velocidade (km/h)	60	30	40

Os resultados da criação dos mapas a partir do estimador de Kernel são apresentados nas Figuras 3, 4 e 5 para cada um dos perfis de atropelamentos respectivamente. Para fins comparativos, um mapa de KDE dos atropelamentos de pedestres sem os perfis também foi gerado, e é apresentado na Figura 6. A densidade de atropelamentos é representada pela variação de cores que vai do amarelo claro (muito baixa) ao vermelho escuro (muito alta). O procedimento para a obtenção das densidades de Kernel consiste na criação de uma área circular em torno de cada sinistro com base no raio de influência pré-definido (200 metros). Nessa área, a matemática de Kernel considera uma variação de valores que vai de 1 (localizado no sinistro de trânsito) até 0 (localizado na fronteira do círculo), assim as classes definidas representam um quantitativo da sobreposição de somas dos valores de Kernel.

Ao avaliar as características de cada agrupamento e a localização espacial dos sinistros pertencentes a cada grupo representadas na Figura 2, verifica-se uma relação entre os *clusters* e a diferenciação dos segmentos viários conforme a classificação de hierarquia das vias.

O *Cluster 1* possui características que descrevem segmentos viários arteriais, sendo típico de rodovias localizadas em áreas urbanas, onde a velocidade é de 60 km/h. Pela Figura 3, os sinistros agrupados no *Cluster 1* estão, em sua maioria, localizados na Av. Marcelo Gama e em número menor na Av. dos Imigrantes, essas vias correspondem às características do grupo, principalmente ao primeiro caso, onde tem como característica a existência de quatro faixas de tráfego (duas por sentido) e sem calçadas no entorno. Adicionalmente, as características do *cluster* descrevem que esses sinistros estão concentrados em áreas de baixa renda (menos de 1 salário mínimo) e baixa densidade comercial (menor de 30 comércios por km²).

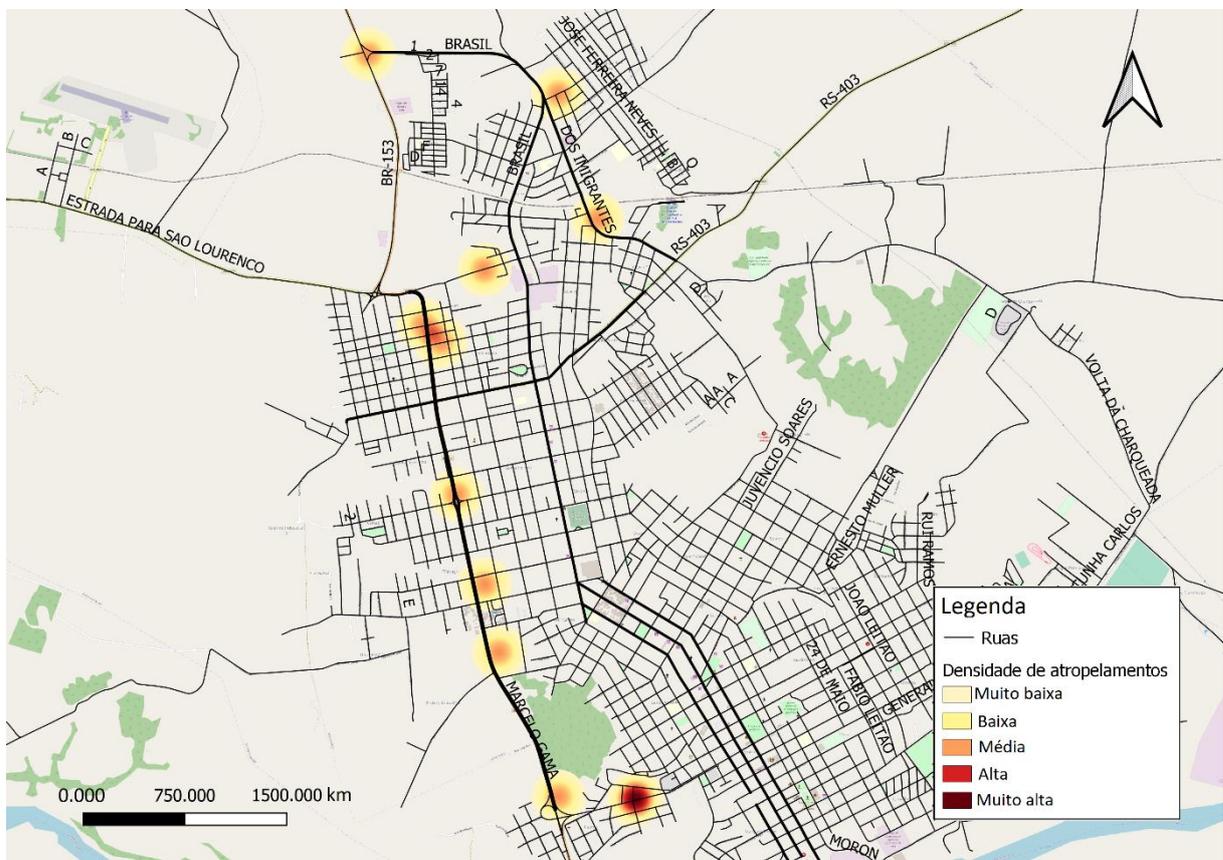
Figura 2 – Representação geoespacial dos atropelamentos conforme os *clusters*



Fonte: Elaborado pela autora, no QGIS Desktop versão 3.10.1

Ao avaliar as características desse *cluster*, pode-se verificar que esses sinistros se encontram em corredores de alto risco para atropelamentos de pedestres conforme reportado por Dai (2012), dada a relação entre a pouca infraestrutura destinada a circulação de pedestres e as altas velocidades empregadas por veículos nesses locais, na Figura 3 onde está representado o mapa de calor para esse *cluster* é possível visualizar os segmentos viários que formam esses corredores. O menor perfil socioeconômico dentre os *clusters* mostra a associação entre a baixa renda e condições de infraestruturas para o pedestre precárias, conforme reportado na literatura (Hwang et al., 2017).

Figura 3 – Mapa de calor de KDE dos atropelamentos de pedestres do *cluster 1*



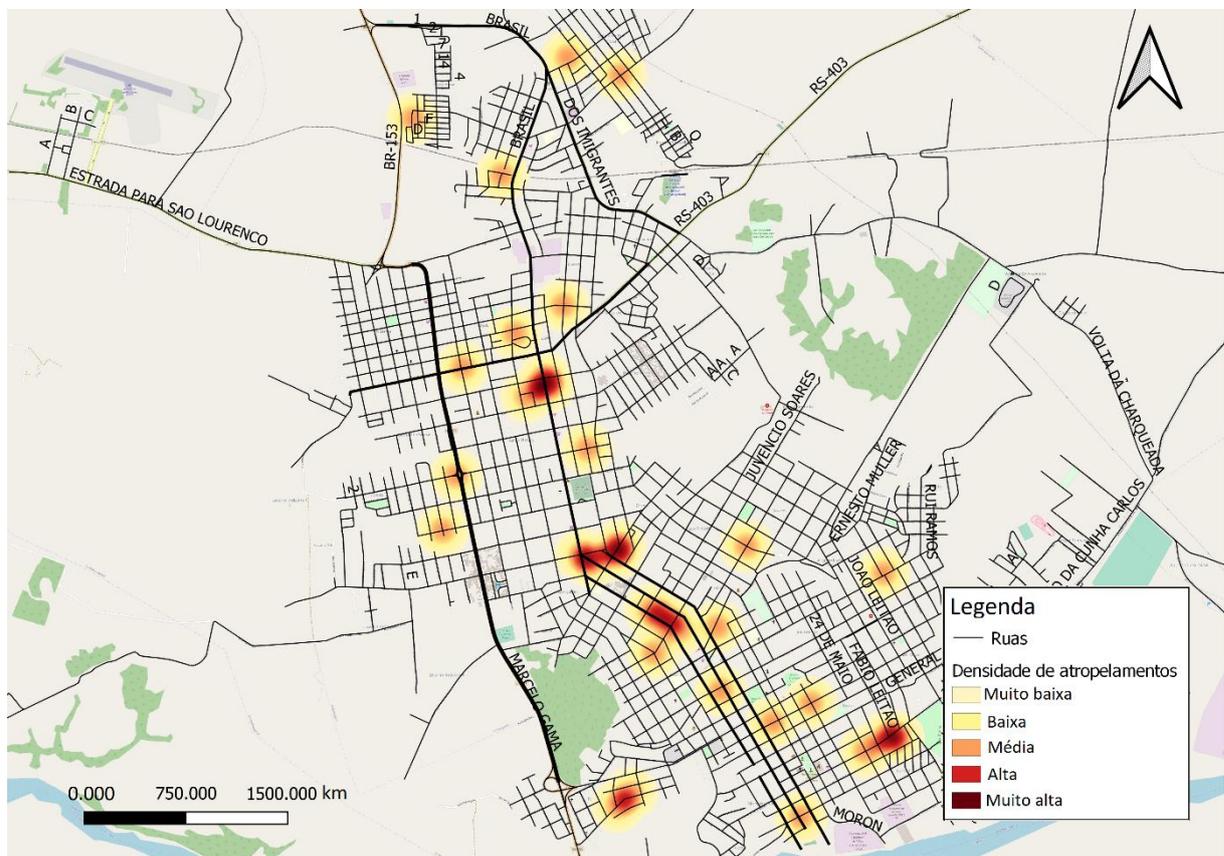
Fonte: Elaborado pela autora, no QGIS Desktop versão 3.10.1

Por se tratar de uma área residencial, assume-se que as vítimas dos atropelamentos são majoritariamente pessoas que residem nas vias de bairros próximos a essas rodovias urbanas e precisam atravessá-las para poderem ter acesso às áreas comerciais, trabalho e educação, e acabam sendo expostas aos riscos de atropelamentos. Assim, as medidas de segurança viária nesses locais podem estar relacionadas à implementação de calçadas separadas do tráfego rodoviário e melhorias nas condições de travessia dos pedestres (WELLE et al., 2015), como implementação de passarelas ou faixas de pedestres combinadas com sinalização luminosa com tempo semafórico para pedestres. Adicionalmente, podem-se implementar medidas de sinalização viária vertical indicando aos motoristas que está em um perímetro urbano em conjunto com dispositivos auxiliares de sinalização para impedir a adoção de velocidades superiores as permitidas, como as lombadas ou radares.

O *cluster 2* descreve especificamente sinistros localizados em áreas residenciais com vias caracterizadas como locais, onde as velocidades são de 30 km/h. Conforme pode ser visto

no mapa de calor da Figura 4, a maior densidade de atropelamentos é vista em áreas localizadas próximas às vias principais para circulação da cidade (destacadas em negrito). Portanto, mesmo que esses sinistros classificados nesse grupo ocorram em vias destinadas ao acesso local, a proximidade delas a essas vias indica uma possível correlação à influência do tráfego associada a uma área predominantemente residencial onde as condições de infraestrutura e sinalização na maioria das vezes não são bem definidas, como nas áreas comerciais.

Figura 4 – Mapa de calor de KDE dos atropelamentos de pedestres do *cluster 2*

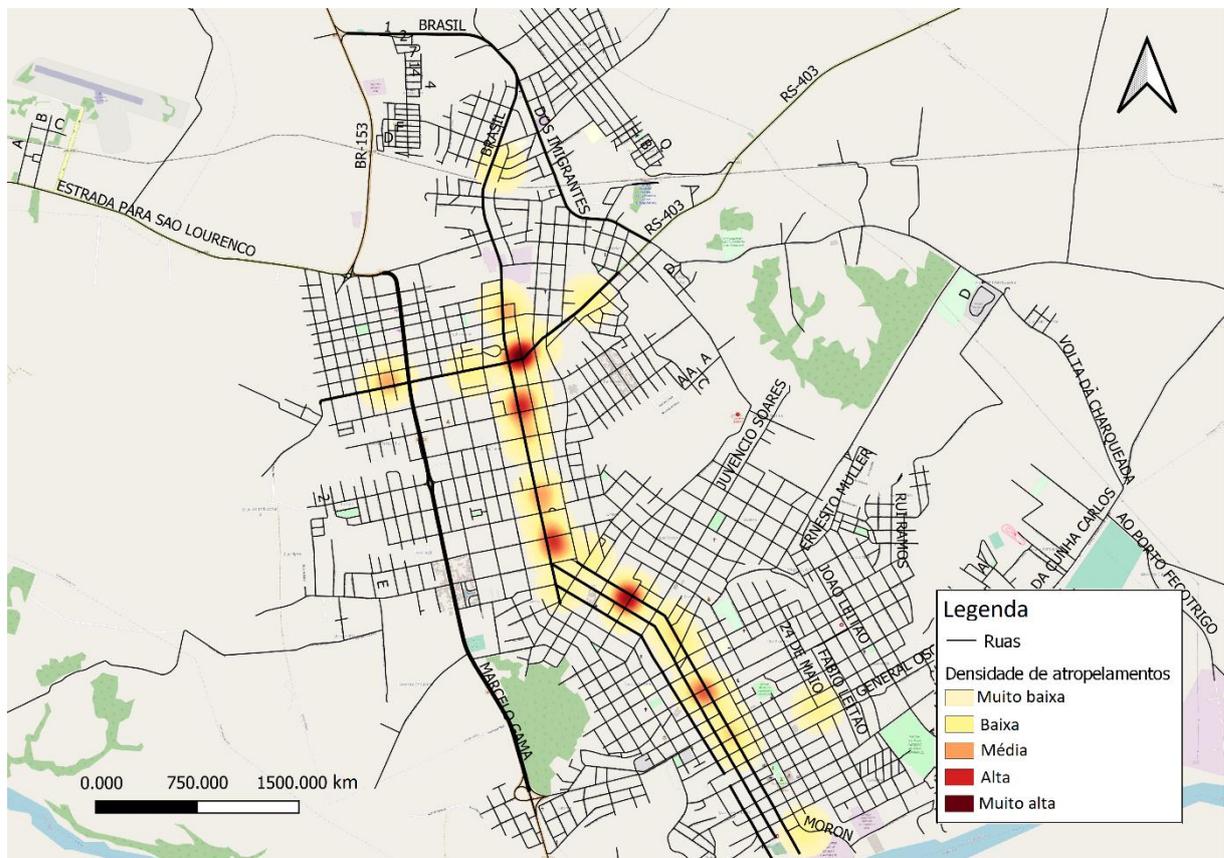


Fonte: Elaborado pela autora, no QGIS Desktop versão 3.10.1

Assim, para esse último *cluster* descrito, as intervenções podem estar direcionadas novamente a melhoria das condições de infraestrutura das calçadas, e estratégias públicas como a implementação de planos para regularização e padronização das calçadas junto com a comunidade residente nesses locais podem ser pensadas. Adicionalmente, medidas que auxiliem os motoristas a identificar que ele está trafegando em uma área residencial e que,

portanto, precisa reduzir sua velocidade, como aquelas previstas em *Traffic Calming Measures* (estreitamento das vias e aplicação de chicanas), assim como reforço da sinalização viária para indicação de área residencial e limite de velocidade (GITELMAN et al., 2012; WEBSTER, 1998).

Figura 5 – Mapa de calor de KDE dos atropelamentos de pedestres do *cluster 3*



Fonte: Elaborado pela autora, no QGIS Desktop versão 3.10.1

E por último, O *cluster 3* descreve o perfil de sinistros localizados em áreas centrais com alta atividade comercial, especificamente aqueles ocorridos em vias coletoras da cidade, referindo-se a algumas daquelas vias destacadas em negrito e que podem ser visualizados no mapa KDE na Figura 5, onde a densidade de atropelamentos é concentrada nessas vias. As características do *cluster* coincidem com aquelas comumente verificadas nessas vias, onde o perfil econômico desenvolvido, influenciado pela alta renda e maior densidade de comércio e

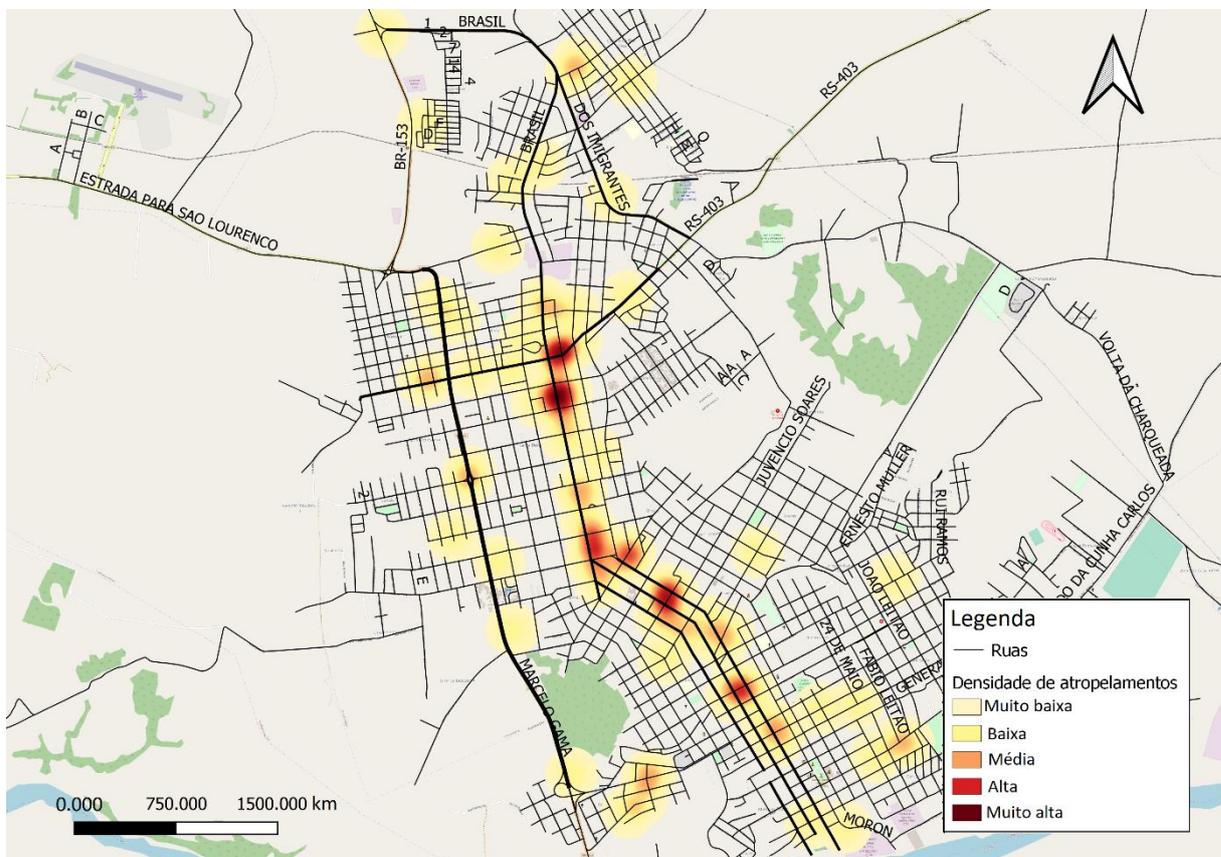
serviços, atraindo deslocamento de um volume elevado de pessoas e veículos nesses locais, que acabam gerando conflitos pela disputa por espaços urbanos (UKKUSURI et al., 2012).

Assim, para esse último, as medidas podem ser voltadas para a garantia de um tratamento mais inclusivo do pedestre nesses locais, através da aplicação de medidas como aquelas previstas pelo TOD, em conjunto de *Traffic Calming Measures* (BELZER; AUTLER, 2002). Dentro desse *cluster* uma variedade de medidas pode ser aplicada, avaliando cada uma das vias com suas respectivas características e os propósitos, especificamente aos tipos comerciais que podem abranger.

Dentre essas medidas estão a ampliação das calçadas (alargamento), que favorecem um ambiente mais seguros para os pedestres, assim como prover melhores condições para travessia dos pedestres, com a implementação de faixas de segurança bem sinalizadas e tempos semafóricos para pedestres (ANDRADE; LINKE, 2017; MIRANDA-MORENO et al., 2011). Além disso, os cruzamentos devem receber um tratamento mais adequado para garantir a visibilidade nas travessias dos pedestres, assim como os entornos das paradas de ônibus. A redução dos limites de velocidade em áreas onde há uma maior circulação de pedestres, assim como a criação de espaços compartilhados, podem aumentar a garantia de segurança para os pedestres (WELLE et al., 2015). Adicionalmente, medidas relacionadas à criação de faixas exclusivas para o transporte público por ônibus e também vias destinadas especificamente para ciclistas podem incentivar a mobilidade sustentável na cidade (BELZER; AUTLER, 2002).

Na Figura 6 está representado o mapa de KDE desconsiderando a classificação dos atropelamentos conforme os perfis obtidos da Análise de Agrupamentos. Nele é possível ver uma maior densidade de sinistros nas vias centrais da cidade, dando um menor peso aos sinistros que ocorrem nos corredores urbanos, conforme visto na Figura 3 que foi identificado no *cluster* 1. Isso ocorre, pois, ao avaliar os atropelamentos em quantidade, há uma maior concentração de sinistros na área central da cidade, onde é esperado que se tenha um maior tráfego de veículos motorizados, no entanto, esse estudo não teve acesso a dados de volume de tráfego na cidade, uma vez que esses dados dificilmente são coletados por cidades de pequeno porte. Portanto, não foi possível ponderar os sinistros, para poder compará-los em índices de severidade e gravidade de sinistros comumente utilizados na literatura (FERRAZ et al., 2012).

Figura 6 – Mapa de calor de KDE dos atropelamentos de pedestres



Fonte: Elaborado pela autora, no QGIS Desktop versão 3.10.1

Por outro lado, a representação do mapa de calor conforme os perfis de atropelamentos (*clusters*) apresentados nas Figuras 3, 4 e 5 auxiliam na obtenção dos diferentes tipos de sinistros de trânsito envolvendo pedestres, identificando os fatores que influenciaram na ocorrência deles de uma forma segregada, tornando possível a proposição de medidas mais apropriadas para cada caso. Assim, esses procedimentos podem ser utilizados como uma alternativa metodológica para as análises de segurança viária nas cidades, especialmente naquelas com poucos dados de transportes, como é o caso das cidades de menor porte, uma vez que pode ser aplicada com poucos recursos, a partir apenas de dados de sinistros de trânsito e coletas adicionais do ambiente viário. Desse modo, os estudos podem se beneficiar com a obtenção dos padrões de sinistros e os segmentos de via que requerem intervenções para garantir a segurança viária nas cidades.

4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A situação de insegurança viária requer a tomada de medidas para garantir a mobilidade segura nas cidades. Os pedestres são os usuários mais vulneráveis do sistema de trânsito, e, por isso, precisam receber atenção dos planejadores urbanos. Assim, esse estudo se propôs a identificar o perfil dos atropelamentos e os pontos críticos da ocorrência destes sinistros em uma cidade de pequeno porte, onde há uma carência de estudos desse tipo. Como metodologias adotadas, um banco de dados dos sinistros de trânsito ocorridos no período de 2015 a 2018 na cidade foi utilizado como base e características viário-ambientais foram coletadas com o auxílio de ferramentas SIG. Uma Análise de Agrupamentos foi utilizada para obter os perfis e uma KDE foi aplicada para a representação espacial dos sinistros e identificação dos pontos críticos.

Como resultados, foram identificados três perfis de atropelamentos de pedestres para a cidade em estudo, o agrupamento dos sinistros seguiu um padrão por segmentos homogêneos de vias diferenciados conforme as características viário-ambientais coletadas. Esses resultados, contribuíram para uma discussão acerca dos fatores contribuintes dos sinistros e a identificação de medidas que poderiam ser aplicadas de forma segregada para cada perfil de atropelamento de pedestres. A representação espacial dos sinistros em conjunto com a aplicação da KDE tornou possível a visualização dos segmentos viários que concentram atropelamentos, caracterizando-se como locais de potenciais riscos para lesões de pedestres e que, portanto, merecem maior atenção dos planejadores na elaboração de políticas públicas para a promoção de segurança viária nas cidades.

Assim, este estudo contribui com evidências empíricas sobre os perfis de atropelamentos de pedestres e a identificação de pontos críticos da ocorrência desses sinistros para um estudo de caso em uma cidade brasileira de pequeno porte. Além disso, o estudo apresenta uma metodologia híbrida, com a combinação de análises estatísticas e técnicas geoespaciais aplicadas a um banco de dados de sinistros de trânsito, que pode ser adotada por órgãos públicos responsáveis para a adoção de medidas. A metodologia é uma alternativa interessante para as cidades de menor porte, uma vez que necessita de poucos recursos para ser aplicada. No entanto, ressalta-se a necessidade de se garantir a coleta de dados de sinistros de trânsito a partir de BOs de forma apropriada, garantindo a padronização dos dados para que se possam processar de forma simples e eficiente. Como propostas para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação de metodologias semelhantes em outras cidades com características viárias diferentes e também em cidades de todos os tamanhos, para que se possam identificar padrões

de perfis de atropelamentos que auxiliem na elaboração de um conjunto de medidas aplicáveis para cada caso.

REFERÊNCIAS

AASHTO. **Highway Safety Manual.**, Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2010.

ANDERSON, T. K. Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots. **Accident Analysis & Prevention**, v. 41, n. 3, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.12.014>>.

ANDRADE, V.; LINKE, C. C. **Cidade de pedestres: A caminhabilidade no Brasil e no mundo.** Rio de Janeiro: Babilonia Cultura Editorial, 2017. 240 p.

BAYLEI, T. C.; GATREL, A. C. **Interactive Spatial Data Analysis.** New York, NY: John Wiley and Sons, 1995.

CASTRO, L. N. de; FERRARI, D. G. **Introdução à Mineração de dados: Conceitos básicos, algoritmos e aplicações.** São Paulo: Editora GEN LTC ,2016. 296 p.

CHO, G.; RODRÍGUEZ, D. A.; KHATTAK, A. J. The role of the built environment in explaining relationships between perceived and actual pedestrian and bicyclist safety. **Accident Analysis and Prevention**, v. 41, n. 4, p. 692–702, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.03.008>>.

DAI, D. Identifying clusters and risk factors of injuries in pedestrian-vehicle crashes in a GIS environment. **Journal of Transport Geography**, v. 24, p. 206–214, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.02.005>>.

DAI, D.; JAWORSKI, D. Influence of built environment on pedestrian crashes: A network-based GIS analysis. **Applied Geography**, v. 73, p. 53–61, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.06.005>>.

DAMSERE-DERRY, J. et al. Pedestrians' injury patterns in Ghana. **Accident Analysis and Prevention**, v. 42, n. 4, p. 1080–1088, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.12.016>>.

DING, C.; CHEN, P.; JIAO, J. Non-linear effects of the built environment on automobile-involved pedestrian crash frequency: A machine learning approach. **Accident Analysis and Prevention**, v. 112, p. 116–126, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.12.026>>

ELVIK, Rune *et al.* **O manual de medidas de segurança viária.** Madrid, Espanha: Fundación MAPFRE, 2015.

EVANS-COWLEY, J. Sidewalk Planning and Policies in Small Cities. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 132, n. 2, p. 71–75, 2006. Disponível em: <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9488\(2006\)132:2\(71\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9488(2006)132:2(71))>.

EVANS, L. **Traffic safety**. 2. ed. Bloomfield Hills, EUA: Science Serving Society, 2004. 445 p.

FOTHERINGHAM, A. S.; BRUNSDON, C.; CHARLTON, M. **Quantitative Geography: Perspectives on Spatial Data Analysis**. 1 ed. Reino Unido: Sage Publications UK, 2000. 284 p.

GALVÃO, N. D.; MARIN, H de F.. **Técnica de mineração de dados: Uma revisão da literatura**. ACTA Paulista de Enfermagem, v. 22, n. 5, p. 686–690, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-21002009000500014>>.

GITELMAN, V. et al. Characterization of pedestrian accidents and an examination of infrastructure measures to improve pedestrian safety in Israel. **Accident Analysis and Prevention**, v. 44, n. 1, p. 63–73, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.11.017>>.

HAIR, J. F. JR et al. **Análise multivariada de dados**. 6 ed. Editora Bookman, 2009. 688 p.

HWANG, J.; JOH, K.; WOO, A. Social inequalities in child pedestrian traffic injuries: Differences in neighborhood built environments near schools in Austin, TX, USA. **Journal of Transport and Health**, v. 6, n. May, p. 40–49, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jth.2017.05.003>>.

IBGE. **Censo demográfico 2010: Características da população e dos domicílios**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 8 nov. 2019

IBGE. **População estimada**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência, 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/cachoeira-do-sul/panorama>>. Acesso em: 1 de jul de 2019.

JACOBSEN, P. L. Safety in numbers: More walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. **Injury Prevention**, v. 21, n. 4, p. 271–275, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1136/ip.9.3.205rep>>.

LEE, C; ABDEL-ATY, M. Comprehensive analysis of vehicle-pedestrian crashes at intersections in Florida. **Accident Analysis and Prevention**, v. 37, n. 4, p. 775–786, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.03.019>>.

LI, Y; FAN, W. D. Modelling severity of pedestrian-injury in pedestrian-vehicle crashes with latent class clustering and partial proportional odds model: A case study of North Carolina. **Accident Analysis and Prevention**, v. 131, p. 284–296, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.07.008>>.

MIRANDA-MORENO, L.; MORENCY, P.; EL-GENEIDY, A. M. The link between built environment, pedestrian activity and pedestrian-vehicle collision occurrence at signalized intersections. **Accident Analysis and Prevention**, v. 43, n. 5, p. 1624–1634, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.02.005>>.

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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.11.001>>.

NGAI, E. W. T.; XIU, Li; CHAU, D. C. K. Application of data mining techniques in customer relationship management: A literature review and classification. **Expert Systems with Applications**, v. 36, n. 2 PART 2, p. 2592–2602, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.02.021>>.

OLSZEWSKI, P. et al. Pedestrian fatality risk in accidents at unsignalized zebra crosswalks in Poland. **Accident Analysis and Prevention**, v. 84, p. 83–91, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.08.008>>.

PERROW, C. **Normal accidents: Living with high-risk technologies**. Editora: Princeton University Press, 2011. 464 p.

PATRICIOS, N. N. Urban design principles of the original neighbourhood concepts. **Urban Morphology**, v. 6, n. 1, p. 21–32, 2002. Disponível em: <https://works.bepress.com/nicholas_patricios/15/>.

PRATO, C. G. et al. Integrating police reports with geographic information system resources for uncovering patterns of pedestrian crashes in Denmark. **Journal of Transport Geography**, v. 74, n. October 2016, p. 10–23, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.10.018>>.

PRATO, C. G.; GITELMAN, V.; BEKHOR, S. Mapping patterns of pedestrian fatal accidents in Israel. **Accident Analysis and Prevention**, v. 44, n. 1, p. 56–62, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.12.022>>.

SHEYKHFARD, A; HAGHIGHI, F. Performance analysis of urban drivers encountering pedestrian. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 62, p. 160–174, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.12.019>>.

SHINAR, D. **Traffic Safety and Human Behavior**. 2 ed. Amsterdam, Holanda: Editora Elsevier Science, 2011. 826 p.

STOKER, P. et al. Pedestrian Safety and the Built Environment: A Review of the Risk Factors. **Journal of Planning Literature**, v. 30, n. 4, p. 377–392, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/0885412215595438>>.

SUN, M.; SUN, X.; SHAN, D. Pedestrian crash analysis with latent class clustering method. **Accident Analysis and Prevention**, v. 124, p. 50–57, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.12.016>>.

TINGVALL, C.; HAWORTH, N. **Vision Zero: an ethical approach to safety and mobility** - Monash University Accident Research Centre. In: INTERNATIONAL CONFERENCE

ROAD SAFETY & TRAFFIC ENFORCEMENT, 1999, Melbourne (Austrália). **Anais...** Melbourne: 6° ITE, 1999. Disponível em: <<https://eprints.qut.edu.au/134991/>>.

TORRES, T. B. **Prevalência de fatores associados a acidentes viários no entorno de escolas**. 2016, 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

TREAT, J. et al. Tri-level study of the causes of traffic accidents. Executive summary. *Vision Research*, [S. l.], v. 42, n. 21, p. 2419–2430, 1979.

UKKUSURI, S. et al. The role of built environment on pedestrian crash frequency. **Safety Science**, v. 50, n. 4, p. 1141–1151, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.09.012>>.

WELLE, B. *et al.* **Cities Safer by Design Report**. Washington, D.C, USA: World Resources Institute, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cld.2007.06.010>>.

WHO. **Global status report on road safety**. Geneva: World Health Organization, 2018. Disponível em: <https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/>.

WHO. **3rd Global Ministerial Conference on Road Safety**. Stockholm, Sweden: World Health Organization, 2020. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/events/detail/2020/02/19/default-calendar/3rd-global-ministerial-conference-on-road-safety>>. Acesso em: 18 mar. 2020.

5 DISCUSSÃO

Levando-se em consideração os aspectos apresentados, a aplicação da AFE na base de dados das características que influenciam nos atropelamentos de pedestres auxiliou no reconhecimento dos fatores envolvidos na ocorrência dos sinistros de trânsito, além de verificar quais variáveis observadas estão relacionadas. A eliminação de uma quantidade de variáveis do modelo - inicialmente eram 23 e permaneceram 10 variáveis, permitiu que as análises seguintes pudessem se concentrar nas variáveis mais importantes. O resultado da AFE dos fatores contribuintes segundo as variáveis agrupadas assemelhou os fatores conforme aos componentes do sistema de trânsito – usuário, via, veículo e ambiente, o que é um resultado interessante visto que esse processo é resultante das funções estatísticas do modelo, com mínima interferência do pesquisador, mostrando que este estudo corrobora com resultados empíricos já reportados na literatura e são indicativos da robustez da base de dados utilizada (STOKER et al., 2015; PERROW, 2011; TREAT et al., 1979).

Outro benefício de aplicar a técnica foi para a verificação do impacto da multicolinearidade nas variáveis de análise. A formação dos fatores mostrou que as variáveis agrupadas em cada um deles são multicolineares. Ao verificar o número de variáveis em cada fator, conforme pode ser visto na Tabela 1 do Artigo 1, percebe-se que os fatores não estão totalmente equilibrados, sendo o Fator 1 com duas variáveis, Fator 2, com três, Fator 3, com uma variável, e Fator 4, com quatro variáveis. Assim, como forma de evitar uma ponderação desproporcional entre as variáveis multicolineares de cada fator nas análises de agrupamentos, nelas foram utilizadas as variáveis características do ambiente (Fator 4) e da via (Fator 2), já que as mesmas possuíam uma representatividade considerada equilibrada entre as variáveis dos fatores. Além disso, dessa forma o estudo traz uma proposta de analisar do ponto de vista mais de infraestrutura da engenharia de transportes, que pode atuar mais especificamente nas características viário-ambientais do sistema.

Entende-se que as informações relativas ao usuário e o tipo de veículo pudessem fornecer medidas de fiscalização a serem tomadas pelas autoridades responsáveis, no entanto, o baixo número de informações relativos a esses fatores pode dificultar a tomada de decisão dessas medidas. Assim, para as análises de agrupamento foram utilizadas as seguintes variáveis: *limite de velocidade, tipo de via e número de faixas de tráfego* do Fator Via, e *perfil socioeconômico, existência de calçada, densidade de comércios e serviços e tipo de área* do Fator Ambiente, o que totaliza 7 variáveis estatísticas de agrupamento. A Análise de Agrupamentos com a aplicação conjunta de uma técnica hierarquia e não hierárquica

permitiram o entendimento da atuação dos fatores envolvidos nos atropelamentos e a identificação dos perfis de atropelamentos envolvendo pedestres em Cachoeira do Sul, onde o melhor ajuste foi com três grupos.

Os atropelamentos de pedestres na cidade do estudo se diferenciaram conforme três grupos classificatórios. O primeiro grupo (*cluster 1*) refere-se aqueles sinistros que ocorrem em vias arteriais da cidade, onde a mobilidade é voltada para a circulação de veículos motorizados a altas velocidades, e foi dada menor atenção às demandas dos pedestres, dada a falta de locais apropriados para circularem. Além disso, esses sinistros ainda possuem relação com a vulnerabilidade dos bairros, que são residenciais de baixa renda. Na Figura 5 está representando um trecho da Avenida Marcelo Gama, segmento viário que apresenta a maioria dos sinistros pertencentes ao *cluster 1*, onde é possível visualizar essas características descritas nesse cluster, como a indisponibilidade de calçadas, e características como duas faixas de tráfego por sentido e separadas com canteiro central que são representativos de vias voltadas ao tráfego viário de alta velocidade.

Figura 5 – Captura de um trecho da avenida Marcelo Gama



Fonte: Google Street View.

O segundo grupo (*cluster 2*) refere-se àqueles atropelamentos que ocorrem em vias locais de bairros residenciais próximos às vias centrais da cidade onde, portanto, existe um

desequilíbrio entre as características da infraestrutura das vias, os serviços urbanos oferecidos ao usuário e a circulação de pedestres e veículos motorizados. Na Figura 6 consta um trecho da rua Dona Hermínia, onde se concentra uma parcela significativa de atropelamentos do *cluster* 2. Nesse segmento é possível observar que percorre áreas residenciais onde as calçadas apresentam obstáculos (árvores, postes de luz), o que diminui consideravelmente as áreas de caminhada para pedestres. Também, é possível visualizar muitos veículos estacionados nessas vias, por se tratarem de ruas próximas às áreas centrais, onde a disponibilidade de espaços para estacionamento é limitada, o que provoca que os condutores acabem estacionando em vias transversais às principais. Essa circunstância provoca a redução do campo de visão dos motoristas que transitam no local para com os pedestres.

Figura 6 – Captura de um trecho da rua Dona Hermínia



Fonte: Google Street View.

E por fim, o terceiro grupo (*cluster 3*) refere-se àqueles sinistros que ocorrem em vias coletoras localizadas nas áreas centrais da cidade que possuem uma densidade alta de comércios e serviços, onde o volume de tráfego gerado pelas atividades econômicas provoca conflitos entre os motoristas e pedestres. Na Figura 7 está representado um trecho da avenida Brasil, onde boa parcela dos sinistros desse *cluster* se encontram, no qual é possível ver que se trata de

uma via que possui grande movimentação de pedestres, de veículos e até mesmo do transporte público por ônibus.

Figura 7 – Captura de um trecho da avenida Brasil



Fonte: Google Street View.

A análise geoespacial foi utilizada como forma de representar espacialmente os sinistros, a partir de uma Estimativa da Densidade de Kernel. Com o auxílio da ferramenta QGIS, a técnica foi aplicada para a obtenção de um mapa de calor para identificar os pontos críticos – pontos com maior densidade de sinistros, e que, portanto, são caracterizados como locais de potenciais riscos de lesões de pedestres. A apresentação final dos *clusters* em conjunto com a utilização de uma ferramenta geoespacial facilitou a compreensão dos resultados, dada a possibilidade de verificar a representação geográfica dos sinistros conforme os agrupamentos.

Essa análise permitiu verificar que os *clusters* obtidos geraram agrupamentos de sinistros em segmentos de via com características homogêneas, segundo as variáveis estatísticas de agrupamento utilizadas. Ficou evidente, também, que a distinção entre os perfis dos sinistros de trânsito envolvendo os pedestres na cidade em estudo tem relação com a hierarquia viária. Adicionalmente os clusters mostram as condições de infraestrutura e do ambiente nesses locais, o que permitiu relacionar com os fatores que influenciam na ocorrência desses sinistros.

Assim, a partir dos perfis de atropelamentos definidos e a representação espacial dos locais que necessitam de intervenções para garantir a segurança viária de pedestres na cidade, algumas medidas gerais foram propostas para cada perfil de atropelamento com base nas revisões na literatura sobre medidas de segurança viária para pedestres. Nos Quadros 4, 5, e 6 constam um resumo das intervenções sugeridas de segurança viária propostas e as principais vias identificadas em cada perfil, assim como os pontos mais críticos, ou seja, com maior densidade de ocorrência de sinistros de trânsito identificados através da colocação avermelhada nos mapas de calores apresentados nas Figuras 3, 4 e 5 do Artigo 2.

Quadro 4 – Intervenções de segurança viária sugeridas para o *cluster* 1

Principais locais	Medidas de Segurança Viária
<p>Vias: Av. Marcelo Gama Av. dos Imigrantes Av. João Neves da Fontoura</p> <p>Pontos mais críticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Região compreendida entre as interseções das ruas Ricardo Rodolfo Drews e Manoel Fialho de Vargas com a Av. Marcelo Gama, próximo a “curva do comercial” – nome popular ▪ Região no entorno da interseção da Rua Cândido Freitas e Av. João Neves da Fontoura. 	<p>Garantia de boas condições de infraestruturas de calçadas: Fazer um levantamento das condições de calçadas em toda a extensão, garantir locais de passeios separados do tráfego rodoviário no local.</p> <p>Melhorias nas condições de travessia dos pedestres: identificar principais pontos de travessia nos locais através de auditorias (ou estudos semelhantes) para poder proporcionar condições adequadas de acordo com as condições do tráfego. Tais medidas estão associadas a configurações semaforicas para garantir tempos de pedestres, implementação e melhoria das faixas de pedestres nas interseções e/ou travessias elevadas.</p> <p>Reforço da sinalização viária: Medidas relacionadas a implementação de lombadas e/ou medidores de velocidade para impedir o desenvolvimento de velocidades maiores do que as permitidas; sinalizações verticais e horizontais que alertem os motoristas de que ele está trafegando em uma rodovia localizada em área urbana.</p>

Quadro 5 –Intervenções de segurança viária sugeridas para o *cluster 2*

Principais locais	Medidas de Segurança Viária
<p>Vias: Quase todas as vias locais da cidade que são próximas as principais vias de circulação da cidade (ver mapa de calor da Figura 4)</p> <p>Pontos mais críticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rua Conde de Porto Alegre compreendida no trecho entre as ruas paralelas Rua Riachuelo e Rua Batista Carlos. ▪ As vias paralelas Rua Santos Dumond e Rua Juvêncio Soares, compreendidas entre as ruas Dom Pedro II e David Barcelos. ▪ Todas as ruas pertencentes ao entorno (400 metros) da interseção de cinco vias formada pela rua Júlio de Castilhos, Bento Gonçalves, Av. Brasil, popularmente conhecida como “5 esquinas”. ▪ Rua Marcílio Dias no trecho entre a rua Leopoldo Souza e Barão da Viamão, em conjunto com o trecho da rua Barão da Viamão entre a rua Marcílio Dias e Aparício Borges. 	<p>Melhoria das condições de infraestrutura das calçadas: estratégias públicas como a implementação de planos para regularização e padronização das calçadas junto com a comunidade residente nesses locais podem ser pensadas. Garantir calçadas mais amplas e sem obstáculos que atrapalhem a caminhada.</p> <p>Medidas como aquelas previstas em <i>Traffic Calming Measures</i>: medidas que auxiliem os motoristas a identificar que ele está trafegando em uma área residencial e que, portanto, precisa reduzir sua velocidade, tais como estreitamento das vias e aplicação de chicanas), assim como reforço da sinalização viária para indicação de área residencial e limite de velocidade</p>

Quadro 6 – Intervenções de segurança viária sugeridas para o *cluster 3*

Principais locais	Medidas de Segurança Viária
<p>Vias: Rua Sete de Setembro Rua Saldanha Marinho Rua David Barcelos Rua Júlio de Castilhos Av. Brasil Rua Alarico Ribeiro</p> <p>Pontos mais críticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Trecho da Rua Alarico Ribeiro compreendido entre as vias Av. Brasil e Rua Aparício Borges, região compreendida popularmente como “Hotel União” ▪ Trecho da Av. Brasil compreendido entre as ruas Barão da Viamão e Rua Ricardo Schaurich. ▪ Trecho da Av. Brasil compreendido entre as ruas Ricardo Schaurich e Bento Gonçalves. ▪ Ruas David Barcelos e Júlio de Castilhos na região compreendida entre as ruas paralelas Duque de Caxias e Juvêncio Soares. ▪ Rua sete de setembro na região paralela as ruas Av. Presidente Vargas e rua Doutor Milian Krás 	<p>Medidas voltadas ao tratamento mais inclusivo do pedestre na região: Medidas voltadas para a ampliação das calçadas e melhoria das condições para travessia como implementação de faixas de pedestres bem sinalizadas, e onde houver semáforo verificar a adequação dos tempos semafóricos para pedestres. Outras medidas estão relacionadas a melhoria da visibilidade dos pedestres nas interseções, regularizar as áreas destinadas para estacionamento mantendo distancias adequadas das interseções.</p> <p>Implementação de medidas previstas pelo TOD- <i>Transit-oriented development</i>: uma análise mais detalhada para caso deve ser observada, mas as medidas podem ser voltadas para a melhoria condições de infraestrutura destinada a mobilidade mais ativa, na visão de que promover medidas que incentivem a caminhada tornem os espaços mais seguros para os pedestres, como parte de um plano de renovação urbana, criando áreas verdes de recreação, melhorando as condições de infraestruturas das paradas de transportes públicos, ampliação de calçadas (temporárias e permanentes), incentivo a criação de fachadas mais ativas. Assim como, criação de faixas exclusivas para o transporte público e ciclovias.</p>

Finalmente, com a definição dos pontos críticos com base nos perfil e fatores contribuintes dos atropelamentos de pedestres apresentadas neste trabalho atinge seus objetivos gerais e específicos. Adicionalmente, as medidas de segurança viária propostas, referem-se, no contexto de planejamento urbano, a intervenções consideradas de baixo custo e de fácil aplicação, sem a necessidade de passar por processos burocráticos de prazos longos dentro do contexto de projetos públicos. As intervenções mencionadas dizem respeito a uma análise em nível macro, dando suporte assim para que estudos posteriores possam explorar os sinistros de trânsito envolvendo pedestres em um nível mais específico, podendo fazer auditorias de segurança viária nos locais com maior risco de lesão de pedestres para averiguar causas e medidas mais concretas dos sinistros ocorridos em cada local. De uma forma mais geral, os resultados obtidos fornecem subsídios as autoridades públicas responsáveis criarem um plano de ação para a melhoria de segurança viária dos pedestres nas cidades.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou a ocorrência dos sinistros de trânsito ocorridos na área urbana de Cachoeira do Sul/RS compreendendo a relação entre os fatores contribuintes, o perfil de atropelamentos de pedestres e os pontos críticos associados aos sinistros. Um método híbrido composto de técnicas estatísticas, Análise Exploratória Fatorial e Análise de Agrupamentos, juntamente com o uso de ferramentas geoespaciais para análises de pontos críticos dos sinistros através da Estimativa de Densidade de Kernel foram utilizados. A metodologia foi aplicada a um caso real, com dados de sinistros de trânsito com vítimas envolvendo pedestres ocorridos no período de 2015 a 2018 na cidade em estudo.

Como resultados, foram identificados os locais que necessitam de intervenções para garantir a segurança viária de pedestres com base nos perfis de atropelamentos na cidade definidos e os fatores contribuintes dos sinistros. Essas análises deram suporte para a elaboração de medidas públicas a um nível macro na análise dos atropelamentos envolvendo os pedestres na cidade. Tais medidas estão relacionadas a melhoria das infraestruturas destinadas a circulação de pedestres, melhoria das condições de travessias, reforço da sinalização viária e aplicação de medidas conforme aquelas previstas pelo desenvolvimento orientado para o trânsito sustentável (TOD) e medidas para moderação do tráfego.

Assim, este estudo contribui com a apresentação de informações que podem ser incorporadas em um plano de ação para a melhoria da segurança viária dos pedestres, a ser

elaborado pelas autoridades públicas responsáveis. Além disso, o método aplicado neste estudo pode ser utilizado como uma metodologia alternativa para ser explorada nos estudos em segurança viária, principalmente para as cidades de menor porte, onde normalmente não existe um corpo técnico especializado em um setor específico ao trânsito. A vantagem da proposta reside na sua robustez metodológica e em que requer coleta apenas de dados acessíveis – dados dos BOs e informações do ambiente viário, podendo facilmente ser replicado por outros profissionais da área a fim de desenvolver estudos que necessitam estabelecer prioridades de atuação e tomada de decisões mais justificadas para essas medidas para a redução de sinistros de trânsito.

Como propostas para trabalhos futuros, sugere-se que sejam exploradas auditorias de segurança viária nos locais identificados como de maior risco para lesão de pedestres, para que se possa focar na definição de medidas apropriadas para cada caso, além de verificar as atuações que já existem nos locais e reforçá-las ou mudar as estratégias. Do mesmo modo, sugere-se que estudos posteriores possam explorar as técnicas apresentadas nesse trabalho aplicando-as a outras cidades de mesmo porte, porém de características diferentes, assim como cidades maiores, como forma de fazer um comparativo dos resultados obtidos para definir ações de segurança viária mais apropriadas para cada tipo. Complementarmente os estudos podem focar na análise antes/depois da implementação das medidas propostas.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, V.; LINKE, C. C. **Cidade de pedestres: A caminhabilidade no Brasil e no mundo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Babilonia Cultural Editorial, 2017, 240 p.

ANTP. **Relatório geral 2016: Sistema de Informações da Mobilidade Urbana**. São Paulo - Brasil: Agência Nacional de Transportes Públicos, 2018. Disponível em: <http://files.antp.org.br/si_mob/simob-2016-v6.pdf>. Acesso em: 8 set. 2019

BRASIL. **Código de Trânsito Brasileiro**. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Presidência da República, Casa Civil, Brasília, DF, 1997.

CASTRO, F. et al. **Levantamento Calçadas do Brasil**. São Paulo: Mobilize Brasil Mobilidade Urbana Sustentável, Disponível em: <<https://www.mobilize.org.br/midias/pesquisas/calçadas-do-brasil---relatorio-inicial--abril-20121.pdf>> Acesso em: 10 set. 2019> . Acesso em: 16 set. 2019

CET. **Acidentes de trânsito fatais**. São Paulo - Brazil: Companhia de Engenharia de Tráfego, 2015. Disponível em: <<http://www.cetsp.com.br/media/468500/acidentesdetransitofataisanual2015>>. Acesso em: 19 abr. 2019.

ELVIK, Rune *et al.* **O manual de medidas de segurança viária**. Madrid, Espanha: Fundación MAPFRE, 2015.

EVANS-COWLEY, J. Sidewalk Planning and Policies in Small Cities. **Journal of Urban Planning and Development**, v. 132, n. 2, p. 71–75, 2006.

EWING, R.; CERVERO, R. Travel and built environment: A meta-analysis. **Journal of american planning association**, v. 76, n. 3, p. 265–294, 2010.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002. 176 p.

HAIR, J. F. JR *et al.* **Análise multivariada de dados**. 6 ed. Editora Bookman, 2009. 688 p.

IBGE. **Censo demográfico 2010: Características da população e dos domicílios**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 set. 2019.

PEDEN, M. *et al.* **World report on road traffic injury prevention**. Medical Journal Armed Forces India. Geneva, 2008. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/s0377-1237\(05\)80135-2](https://doi.org/10.1016/s0377-1237(05)80135-2)>

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2 ed. Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul: Feevale, 2013.

RIO GRANDE DO SUL. **Frota em circulação no RS**. Departamento estadual de trânsito do Rio Grande do Sul, 2019. Disponível em: <<https://www.detran.rs.gov.br/frota-5bd4f16283470>>.

SHIMAKURA, S. **Estatística II**. Paraná: Editora UFPR, 2006. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/notes.html>>

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Subsídios para o planejamento da mobilidade da comunidade acadêmica da UFSM-CS no novo campus**. UFSM, Cachoeira do Sul/RS: Laboratório de Mobilidade e Logística, 2018. Disponível em: <<https://www.ufsm.br/cursos/graduacao/cachoeira-do-sul/engenharia-de-transportes-e-logistica/trabalhos-tecnicos-do-lamot/>>.

WELLE, B. *et al.* **Cities Safer by DesignReport**. Washington, D.C, USA: World Resources Institute, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cld.2007.06.010>>.

WHO. **3rd Global Ministerial Conference on Road Safety**. Stockholm, Sweden: World Health Organization, 2020. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/events/detail/2020/02/19/default-calendar/3rd-global-ministerial-conference-on-road-safety>>. Acesso em: 18 mar. 2020.

WHO. **Global status report on road safety**. Geneva: World Health Organization, 2018. Disponível em: <https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/>.

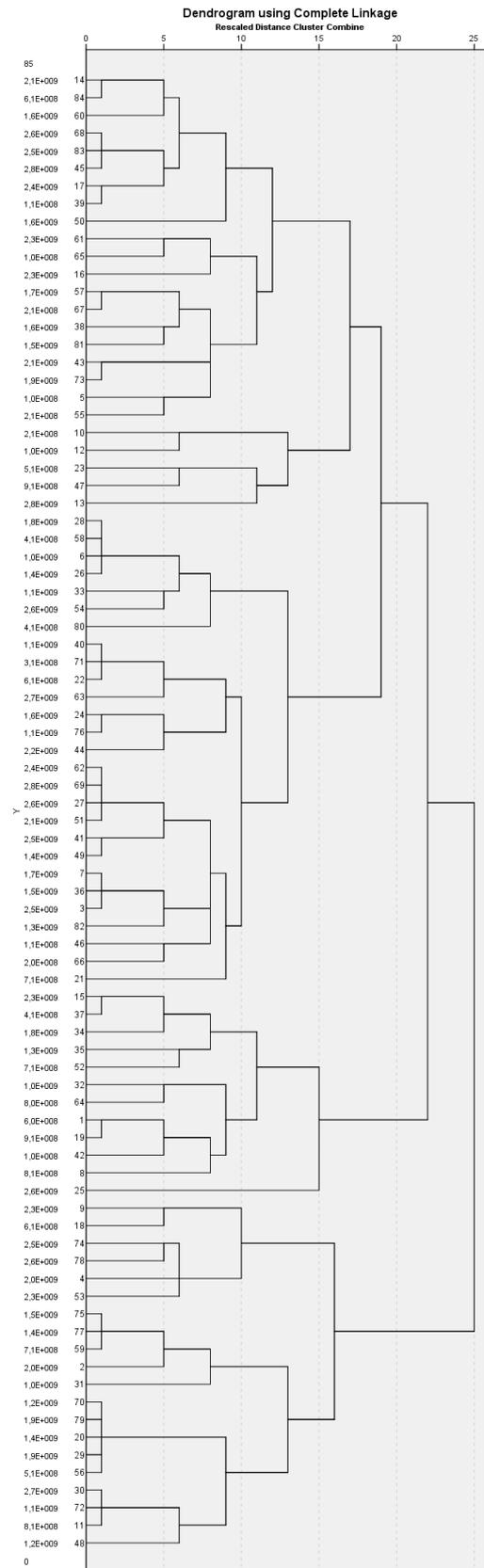
WHO. Saving Millions of Lives: Decade of Action for Road Safety 2011–2020.

Geneva: World Health Organization, 2011. Disponível em: <Decade of Action for Road Safety 2011–2020>.

WHO. Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development Sustainable Development Goal. United Nations General Assembly, 2015. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>>.

ANEXO A – DENDOGRAMA DO AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO



Fonte: Extraído do IBM SPSS *Statistics*