



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE OS ACIDENTES DE TRÂNSITO E A VELOCIDADE A PARTIR DE DADOS DE APLICATIVOS MOBILE

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

RODRIGO DE FRANÇA CUNHA

Orientador: Prof. Dr. Agmar Bento Teodoro
CEFET-MG

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Karla Cristina Rodrigues Silva
University of Florida

BELO HORIZONTE - MG
FEVEREIRO DE 2022

RODRIGO DE FRANÇA CUNHA

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE OS ACIDENTES DE TRÂNSITO E A VELOCIDADE A PARTIR DE DADOS DE APLICATIVOS MOBILE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia de Transportes do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Agmar Bento Teodoro
CEFET-MG

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Karla Cristina Rodrigues Silva
University of Florida

BELO HORIZONTE - MG
FEVEREIRO DE 2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

ANEXO V – FOLHA DE NOTAS

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE OS ACIDENTES DE TRÂNSITO E A VELOCIDADE A PARTIR DE DADOS DE APLICATIVOS MOBILE

RODRIGO DE FRANÇA CUNHA

Trabalho de conclusão de curso submetido à Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia de Transportes, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Transportes.

☒ Aprovado em 11/02/2022.

☐ Aprovada com modificações sugeridas pela banca em [Clique ou toque aqui para inserir uma data..](#)

☐ *Aprovada com ressalvas em [Clique ou toque aqui para inserir uma data..](#)

☐ Reprovado(a).

Assinado de forma digital por
ac6ff0f6-20b6-4a09-b358-
b1be168ce9dd
DN: cn=ac6ff0f6-20b6-4a09-
b358-b1be168ce9dd
Dados: 2022.02.17 12:51:40
-03'00'

NOTA: 95

ORIENTADOR

Prof. Dr. Agmar Bento Teodoro

COORIENTADOR

Prof. Dra. Karla Cristina Rodrigues Silva

NOTA: 95

NOTA: 95

BANCA

Prof^a. Dra. Barbara Stolte Bezerra

NOTA: 95

BANCA

Prof. MSc. Murilo Castanho dos Santos

NOTA FINAL: 95

* Caso o(a) candidato(a) seja aprovado com ressalvas, favor relatar as modificações necessárias e indicar um membro responsável pela verificação das correções.

Aprovada na 26ª Reunião do Colegiado do curso de graduação em Engenharia de Transportes

Dedico este trabalho a todas as vítimas de acidentes de trânsito e seus familiares, na esperança que esse trabalho contribua para um trânsito mais seguro.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço à Prof.^a Dr.^a Karla Cristina Rodrigues Silva e ao Prof. Dr. Agmar Bento Teodoro pela paciência na orientação, bem como por serem uma constante fonte de motivação e incentivo ao longo deste projeto. Muito obrigado.

Agradeço também ao **CEFET-MG** por prover uma educação pública, gratuita e de qualidade, bem como a todos os docentes que contribuíram ao longo de minha carreira acadêmica para eu alcançar onde estou. Sem vocês, nada disso seria possível!

Cito nominalmente estes do Departamento de Engenharia de Transportes do CEFET-MG: *Dr. Agmar Bento Teodoro; Me. André Henrique Campos Teixeira; Me. André Leite Guerra; Dr.^a Anna Carolina Corrêa Pereira; Dr. Augusto Cesar da Silva Bezerra; Me. Chan Kou Wha; Me. Felipe Brandão Santos; Me. Giovanna Monique Alelvan; Dr. José Elievam Bessa Júnior; Esp. Frederico Augusto da Silva; Dr. Geraldo Magela Damasceno; Me. Helena d'Agosto Miguel Fonseca; Dr.^a Karla Cristina Rodrigues Silva; Me. Laísa do Rosário Souza Carneiro; Dr. Marcelo Tuler de Oliveira; Me. Mário de Souza Silva; Dr. Mateus Justino da Silva; Me. Murilo Castanho dos Santos; Me. Natália Couto Bavoso; Me. Priscila de Souza Maciel; Dr. Sérgio Luiz Costa Saraiva; e Me. Tainá Pôssas Abreu.*

Destaco ainda o Prof. Me. André Leite Guerra e a Prof.^a Me. Tainá Pôssas Abreu pelo excelente trabalho desenvolvido na condução da Coordenação de Engenharia de Transportes e na chefia do Departamento de Engenharia de Transportes, respectivamente.

Logo na sequência, agradeço a todos os meus familiares e, em especial, aos meus pais, *Luiz e Margaret*, e aos meus irmãos, *Alexandre e Barbara*. Sem a força diária que vocês me proveem, não seria 1% do que sou hoje.

Adicionalmente, agradeço a todos os amigos e colegas de curso. Sem vocês, talvez eu tivesse desistido ao longo do caminho. Infelizmente não conseguirei citar todos, mas cito nominalmente aqueles que estiveram juntos comigo desde o início e foram imprescindíveis nessa jornada pela Engenharia de Transportes: *Andressa, Arthur, Bruna, Camila, João, Pedro, Ricardo, Tatiane, Vitor e Warley (Nós 11).*

Agradeço também aos colegas do curso Técnico em Transportes e Trânsito. Sem vocês, talvez que eu não teria escolhido essa carreira. Infelizmente também não conseguirei citar todos, mas cito nominalmente aqueles que estão juntos comigo até hoje e foram de grande valia para eu escolher e chegar até o final deste curso: *Lorena, Lorryne, Nayara e Rafael.*

Agradeço ainda a todos os amigos, amigas e colegas ao longo desta jornada no CEFET-MG que não foram explicitamente citados, mas que também são de suma importância e contribuíram positivamente ao meu crescimento. Sem vocês, não seria o profissional e a pessoa ao qual me tornei. Agradecimento especial também às seguintes entidades que foram essenciais para alcançar isso:

À *Associação Atlética das Escolas de Engenharia do CEFET-MG Campi BH (Atlética CEFET-MG/BH)*, por permitir que tenhamos um espaço de descontração, treinamento e desenvolvimento em meio ao caos e *stress* do dia a dia. Sem a *Atlética CEFET-MG/BH* eu teria definitivamente trancado o curso em algum momento.

À *Empresa Júnior de Engenharia de Transportes (MobJr.)*, por permitir que crescamos profissionalmente com uma experiência no interior da universidade.

Ao *Diretório Central dos Estudantes do CEFET-MG (DCE CEFET-MG)*, por defender a comunidade discente, pela promoção dos eventos e por ser um grande responsável pelo meu desenvolvimento social e político.

Aos *órgãos colegiados do CEFET-MG*, por serem espaços democráticos, com voz ativa da comunidade discente, permitindo a defesa dos seus interesses e ainda possibilitar significativo desenvolvimento pessoal na qualidade de conselheiro.

Agradeço também aos colegas de trabalho da Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte S/A (BHTrans) e, em especial, da Gerência de Análise e Processamento de Infrações (GEAPI) por terem contribuído em minha jornada pela segurança viária, ao qual cito nominalmente a Técnica *Janice Coutinho*.

Por fim, agradeço a todas as instituições que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho. Em especial, à UBER, à Prefeitura Municipal de São Paulo e ao *OpenStreetMap* pela disponibilização de informações essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

*“Nunca houve, como hoje, um momento com
mais informação e menos conhecimentos”
(George Steiner)*

CUNHA, R. F. Análise da Relação entre os Acidentes de Trânsito e a Velocidade a partir de Dados de Aplicativos Mobile. 2022. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) — Engenharia de Transportes. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2022.

Resumo

Em 2020 a Assembleia Geral das Nações Unidas instituiu a Segunda Década de Ações para a Segurança no Trânsito (2021 – 2030) mantendo a meta da década anterior: reduzir mortes e lesões no trânsito em pelo menos 50% durante esse período. Um dos fatores que vem sendo identificados como fator-chave de risco em acidentes de trânsito é a velocidade, visto que esta é altamente relacionada à severidade dos acidentes. Este trabalho tem por objetivo realizar uma análise exploratória da relação entre velocidade e acidentes de trânsito no município de São Paulo — SP utilizando bancos de dados SIG com dados de velocidade fornecidos por aplicativos *mobile*. A combinação e a integração desses bancos de dados carecem de investigação adequada em relação à análise de segurança viária. Foram utilizadas ferramentas de sistemas de informação geográfica, algoritmos em *python* para o processamento e planilhas eletrônicas para análise das informações. Entre os resultados, ao relativizar a quantidade de acidentes fatais pela extensão do sistema viário agrupado no respectivo intervalo de velocidade operacional, observa-se uma tendência crescente para uma velocidade maior, conforme distribuição esperada por estudos anteriores. Com base nos resultados apresentados, conclui-se que a velocidade desempenha um papel essencial na severidade dos acidentes de trânsito e não deve ser negligenciada em áreas urbanas. Adicionalmente, também devem ser conduzidas pesquisas específicas acerca da relação entre velocidade e acidentes de trânsito em vias locais e coletoras em razão de se perceber visualmente que diversos acidentes ocorrem em vias locais e coletoras com baixas velocidades em um comportamento diferente quando comparados com vias arteriais e de trânsito rápido. Em síntese, esse estudo segue a literatura sobre a severidade dos acidentes; entretanto, o estudo indica que essa relação não é completamente válida em relação aos acidentes não fatais.

Palavras-chave: Acidente de trânsito; sinistro de trânsito; velocidade.

CUNHA, R. F. Analysis of the Relationship between Road Traffic Crashes and Speed based on Mobile Applications Data. 2022. 49 p. Undergraduate Final Report. Transportation Engineering. Federal Center for Technological Education of Minas Gerais (CEFET-MG), 2022.

Abstract

In 2020, the United Nations General Assembly declared the Second Decade of Action for Road Safety (2021-2030), maintaining the previous decade goal: reduce road traffic deaths and injuries by at least 50% during that period. Speed has been identified as a key risk factor in road traffic crashes since speed is high related to crash severity. This study aims to perform an exploratory analysis of the relationship between speed and road traffic crashes in Sao Paulo city using GIS databases with speed data provided by mobile applications. The combination and integration of databases lack proper investigation concerning safety analysis. We used geographic information system tools, python algorithms for processing, and spreadsheets for data analysis. Among the results, fatal road traffic crashes by road system extension grouped in respective operational speed range rate shown an increasing trend for higher speed, following expected distribution by previous studies. Based on the presented results, we conclude that speed plays an essential role in crash severity and cannot be neglected in urban areas. In addition, a brother investigation of the relationship between speed and crashes for low-volume roads should be performed since we notice visually that several crashes happen in low-volume roads with the lower speed at a different rate when compared to high-volume roads. In a nutshell, this study second the literature regarding crash severity; however, the study indicates that this relationship is not entirely valid for non-fatal road traffic crashes.

Keywords: Road traffic accident; road traffic crash; speed.

Lista de Figuras

Figura 1 – 85° percentil da distribuição de velocidades	16
Figura 2 – Funções potenciais de Nilsson (2004): relação entre mudanças na velocidade média e acidentes	19
Figura 3 – Fluxograma de coleta e tratamento de dados	32
Figura 4 – Acidentes por Intervalo de Velocidade Operacional	33
Figura 5 – Acidentes Fatais por Intervalo de Velocidade Operacional	34
Figura 6 – Acidentes por Quilômetro por Intervalo de Velocidade Operacional .	35
Figura 7 – Acidentes Fatais por Quilômetro por Intervalo de Velocidade Operaci- onal	36
Figura 8 – Acidentes por Quilômetro por Classificação Viária	37
Figura 9 – Acidentes Fatais por Quilômetro por Classificação Viária	37
Figura 10 – Acidentes por Velocidade Operacional Média da Via	38

Lista de Quadros

Quadro 1 – Principais estudos de relação entre velocidade e acidentes do referencial teórico	22
Quadro 2 – Dicionário de Dados — Uber Movement Speeds	25
Quadro 3 – Dicionário de Dados — Camada Acidentes	27
Quadro 4 – Dicionário de Dados — Camada Classificação Viária CET	28

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEFET-MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
ECMT	European Conference of Ministers of Transport
GRSP	Global Road Safety Partnership
PAHO	Pan American Health Organization
PNATRANS	Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito
TRB	Transportation Research Board
UBER	Uber Technologies, Inc.
UNESP	Universidade Estadual Paulista
WHO	World Health Organization

Sumário

1 – Introdução	13
1.1 Justificativa e relevância	13
1.2 Objetivos	14
2 – Fundamentação Teórica	15
2.1 Definições e conceitos	15
2.2 Risco e gravidade de acidentes de trânsito	16
2.3 Relação entre velocidade e acidentes de trânsito	17
2.4 Principais contribuições de estudos anteriores	20
2.5 Taxas de acidentalidade	23
3 – Aspectos Metodológicos	24
3.1 Bases de dados	24
3.1.1 Uber Movement Speeds	25
3.1.2 GeoSampa	26
3.1.2.1 Camada Acidentes	26
3.1.2.2 Camada Municípios da RMSP	27
3.1.2.3 Camada Classificação Viária CET	27
3.1.3 OpenStreetMap	28
3.2 Ferramentas	29
3.2.1 Visual Studio Code	29
3.2.2 Movement-data-toolkit	29
3.2.3 QGIS	29
3.3 Coleta e tratamento de dados	29
4 – Resultados	33
4.1 Discussão	33
5 – Conclusão	39
Referências	40
Apêndices	44
APÊNDICE A – Algoritmo speeds_transformation.py	45
APÊNDICE B – Algoritmo geojson_transform_shp.py	47

1 Introdução

Em 2010 a Assembleia Geral das Nações Unidas instituiu a Década de Ações para a Segurança no Trânsito (2011–2020) como uma maneira de deter e reduzir globalmente os indicadores de mortes em acidentes de trânsito. O objetivo primordial era que cada país membro reduzisse a quantidade de mortos em acidentes de trânsito em 50% no período de dez anos (BRASIL, 2021).

No Brasil, somente em 2018 foi sancionada a Lei n.º 13.614/18 que cria o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS) almejando o objetivo primordial da Década de Ações para a Segurança no Trânsito (2011–2020), mas para outro período de 10 anos, de 2019 a 2028 (BRASIL, 2021).

Não obstante, é importante ressaltar que em 2020 a Assembleia Geral das Nações Unidas considerando, inclusive, as lições aprendidas na década anterior, instituiu a Segunda Década de Ações para a Segurança no Trânsito (2021 – 2030) mantendo a meta: reduzir mortes e lesões no trânsito em pelo menos 50% durante esse período (WHO, 2021, p. 6).

Em certa medida, o PNATRANS possui entre suas iniciativas o fomento de pesquisas na área de segurança viária com foco nos principais fatores de risco, como o excesso de velocidade.

Esse foco está relacionado à velocidade ser um importante fator que contribui para acidentes de trânsito. Nesse sentido, a redução de velocidade protege os usuários vulneráveis da via de lesões e mortes. Em teoria, velocidades menores tendem a resultar na diminuição da probabilidade de acidentes e da probabilidade de mortes ou lesões caso um acidente ocorra. Corroborando essa afirmativa, a velocidade excessiva é estimada em ser um fator contributivo em 31% de todos os acidentes fatais nos Estados Unidos, com custo estimado em US\$ 40 bilhões anuais (GRSP, 2008; PAHO, 2015).

1.1 Justificativa e relevância

De acordo com GRSP (2008, p. 3-4) e WHO (2021), um dos fatores que vem sendo identificados como fator-chave de risco em acidentes de trânsito é a velocidade. Isso ocorre em razão da velocidade estar relacionada à severidade dos acidentes (TRB, 1998, p. 4). Seu aumento, conseqüentemente, leva ao aumento da distância percorrida para parar que exige maior o tempo de reação. Além disso, os efeitos de erros dos condutores são ampliados. Adicionalmente, quanto maior a velocidade, maior a energia mecânica (cinética) envolvida que deverá ser absorvida pelo impacto e, assim, maior

probabilidade de lesões graves.

Pedestres, ciclistas e motociclistas, por exemplo, tem grandes riscos de lesões sérias em colisões com veículos motorizados visto que são completamente desprotegidos: sem cinto de segurança ou *airbags* para absorver parte da energia (ECMT, 2006, p. 40).

A relação da velocidade com outros parâmetros têm sido amplamente explorada em estudos de segurança viária ao redor do mundo. Nesse sentido, esse trabalho justifica-se, pois a situação de análises para as condições do Brasil é ainda precária.

1.2 Objetivos

O trabalho tem por objetivo realizar uma análise exploratória da relação entre a velocidade e a ocorrência dos acidentes de trânsito no município de São Paulo — SP. Para isso, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar revisão bibliográfica sobre a relação entre velocidade e acidentes de trânsito;
- Utilizar bancos de dados com informações de velocidade fornecidas através de aplicativos *mobile*;
- Utilizar bases georreferenciadas de acidentes de trânsito;
- Compreender melhor o fenômeno da relação entre a velocidade e a ocorrência dos acidentes de trânsito, visando validar ou invalidar as questões formuladas.

2 Fundamentação Teórica

Neste capítulo, serão inicialmente apresentadas algumas definições e conceitos para introdução ao tema. Na sequência, será realizada uma revisão da relação entre risco, gravidade de acidentes de trânsito, a relação entre velocidade e acidentes de trânsito e, por fim, sobre taxas de acidentalidade.

2.1 Definições e conceitos

Nesta seção será realizada uma breve introdução a conceitos e definições essenciais para compreensão deste trabalho.

ABNT (2020) define **sinistro de trânsito** da seguinte forma:

todo evento que resulte em dano ao veículo ou à sua carga e/ou em lesões a pessoas e/ou animais, e que possa trazer dano material ou prejuízos ao trânsito, à via ou ao meio ambiente, em que pelo menos uma das partes está em movimento nas vias terrestres ou em áreas abertas ao público.

ABNT (2020) ainda define:

sinistro de trânsito sem vítima: aquele que não resulte em vítima, mas que traga dano material ou prejuízos ao trânsito, à via ou ao meio ambiente;

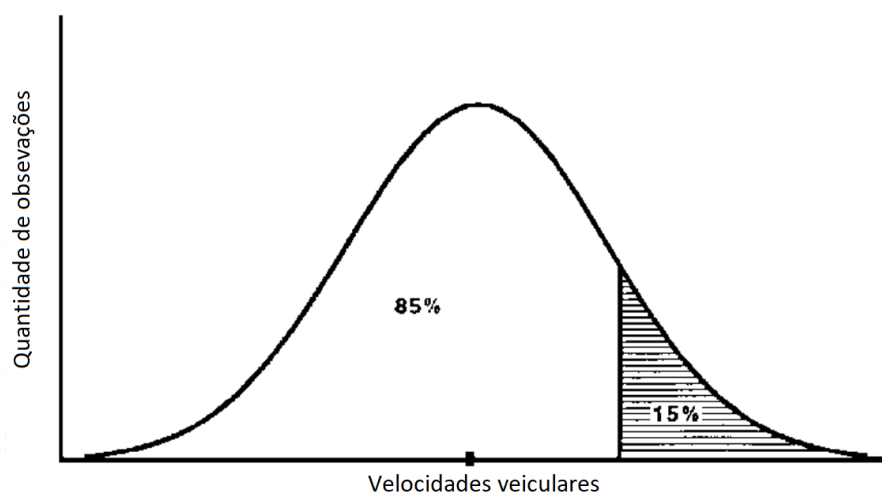
sinistro de trânsito com vítima não fatal: aquele que não resulte em vítima fatal;

sinistro de trânsito com vítima fatal: aquele que resulte em vítima morrendo imediatamente ou em até 30 dias, como resultado do acidente ou suas implicações.

Em que pese a definição de ABNT (2020), a literatura acadêmica nacional tem historicamente utilizado o termo **acidente de trânsito** em detrimento do termo **sinistro de trânsito**. Apesar da palavra “acidente” remeter semanticamente a um evento inevitável, ao passo que são eventos previsíveis e evitáveis, o autor optou por utilizar o termo **acidente de trânsito** por ser mais comum no meio acadêmico, mas sob as mesmas definições de ABNT (2020).

Donnell et al. (2009) define **velocidade operacional** como a velocidade ao qual os veículos são observados em condições de fluxo livre, ou seja, em condições aos quais a velocidade de deslocamento dos veículos que não é afetada por outros veículos (GRSP, 2008). O 85º percentil da distribuição de velocidades observadas é a medida mais frequentemente utilizada como **velocidade operacional**, sendo esta um dos principais objetos de estudo deste trabalho.

Figura 1 – 85º percentil da distribuição de velocidades



Fonte: TRB (1998) adaptado pelo autor

2.2 Risco e gravidade de acidentes de trânsito

O número de pessoas feridas no trânsito é determinado essencialmente por três grupos de fatores principais (ELVIK et al., 2015):

Exposição: representada através da quantidade de viagens e transportes que podem ocorrer acidentes, como o volume de tráfego;

Risco de Acidente: representado pela probabilidade de envolvimento em um acidente por quilômetro percorrido;

Risco de Dano: representado pela probabilidade de ser ferido, uma vez envolvido em um acidente de trânsito.

O número de pessoas feridas é considerado geralmente o produto desses três fatores principais, a saber:

$$\text{Número de feridos no trânsito} = \text{Exposição} \cdot \text{Risco de Acidente} \cdot \text{Risco de Dano} \quad (1)$$

Nesse sentido, para reduzir o número de feridos basicamente existem três maneiras: redução de **Exposição**; do **Risco de Acidente**; ou do **Risco de Dano**.

Em relação à **Exposição**, pode-se dizer que o crescimento do volume de tráfego leva, geralmente, a mais acidentes. Nesse sentido, em uma perspectiva teórica, tendem a ocorrer menos acidentes em vias com menos tráfego e mais acidentes em vias com mais tráfego. Evidentemente, não se pode dizer que o crescimento da quantidade de acidentes é linear em relação ao aumento do tráfego, mas é cenário tendencial (ELVIK et al., 2015).

No que se refere ao **Risco de Acidente**, entende-se pela influência de vários fatores de risco sobre os indicadores de acidentalidade por veículo-quilômetro ou passageiro-quilômetro. Esses fatores podem estar relacionados com o veículo, os usuários da via, o ambiente de trânsito, o meio de transporte, entre outros (ELVIK et al., 2015).

Por exemplo, o risco de lesão é maior para motocicletas e ciclomotores em comparação a outros meios de transporte como motoristas, passageiros e pedestres. Em relação ao ambiente de trânsito, por exemplo, rodovias nacionais (50 km/h, 2 faixas, 3 ou mais cruzamentos) possuem mais acidentes com vítimas por milhão de veículo-quilômetro se comparadas a autoestradas (4 ou mais faixas, 100 km/h). Em relação aos usuários, por exemplo, condutores jovens de 18 a 24 anos possuem um risco de lesão muito maior em relação a adultos de 25 a 34 anos (ELVIK et al., 2015).

Em relação ao **Risco de Dano**, muitos fatores afetam a probabilidade de um acidente acontecer, bem como sua gravidade. Um dos principais fatores é a velocidade no momento da colisão. O aumento da velocidade reduz as margens de segurança durante a condução. Afinal, o condutor percorre uma distância maior antes que tenha tempo para reagir a qualquer perigo (ELVIK et al., 2015).

2.3 Relação entre velocidade e acidentes de trânsito

Além dos aspectos apresentados na justificativa, a velocidade não afeta somente a severidade de um acidente, como já demonstrado. Também está relacionada com o risco de se envolver em um acidente (AARTS; SCHAGEN, 2006; ELVIK; CHRISTENSEN; AMUNDSEN, 2004).

A relação entre velocidade e seus efeitos ao ocorrer um acidente é diretamente relacionada com a energia cinética dissipada durante a colisão. No entanto, a relação entre velocidade e risco de acidentes é muito mais complexa. É de simples compreensão que em altas velocidades o tempo de reação a mudanças no ambiente é menor, a distância de frenagem é maior e a capacidade de manobra é menor. No entanto, é difícil mensurar como as variáveis envolvidas se relacionam. Afinal, diversos fatores são determinantes em influenciar os indicadores de acidentes, bem como a definição de até que ponto altas velocidades influenciam (AARTS; SCHAGEN, 2006).

Apesar da relação entre a velocidade e acidentes vir recebendo muita atenção de pesquisas, os resultados sobre sua relação com os indicadores de acidentes têm sido inconsistentes. Há um número significativamente menor de estudos focados em variações de velocidade do que na velocidade e como outras variáveis relacionadas ao tráfego, à geometria e ao ambiente podem influenciar (AARTS; SCHAGEN, 2006; CHOUDHARY et al., 2018).

Aarts e Schagen (2006) conduziram uma ampla revisão sobre a relação entre

velocidade e risco de acidentes. A revisão demonstrou que, em uma via, os indicadores de acidentes aumentam quando a velocidade aumenta. Isso foi encontrado em dois níveis diferentes: ao nível de veículos específicos e ao nível de trecho de via. Em contraposição, estudos mais recentes sobre previsão de acidentes em tempo real não têm indicado relação entre velocidade média e ocorrência de acidentes, enquanto apresentam relação entre variação de velocidade e ocorrência de acidentes (YU; ABDEL-ATY, 2014; WANG et al., 2015; WANG; YU; ZHONG, 2016; XU; LIU; WANG, 2016; CHOUDHARY et al., 2018).

No nível de veículos específicos, concluiu-se que há uma significativa elevação dos indicadores de acidentes para veículos específicos que aumentam sua velocidade. De qualquer maneira, nenhum dos estudos encontrou suporte científico para comprovar que veículos muito lentos em relação ao tráfego em torno teve um aumento nos indicadores de acidentes. Em estudos anteriores, veículos com velocidade significativamente maior ou menor que a comumente praticada para as vias pesquisadas apresentaram aumento nos indicadores de acidentes (SOLOMON, 1964; TRB, 1998; AARTS; SCHAGEN, 2006).

No nível de trecho de via, uma das formas para se examinar a relação entre velocidade e os indicadores de acidentes é comparar esses indicadores com a velocidade média do trecho (AARTS; SCHAGEN, 2006).

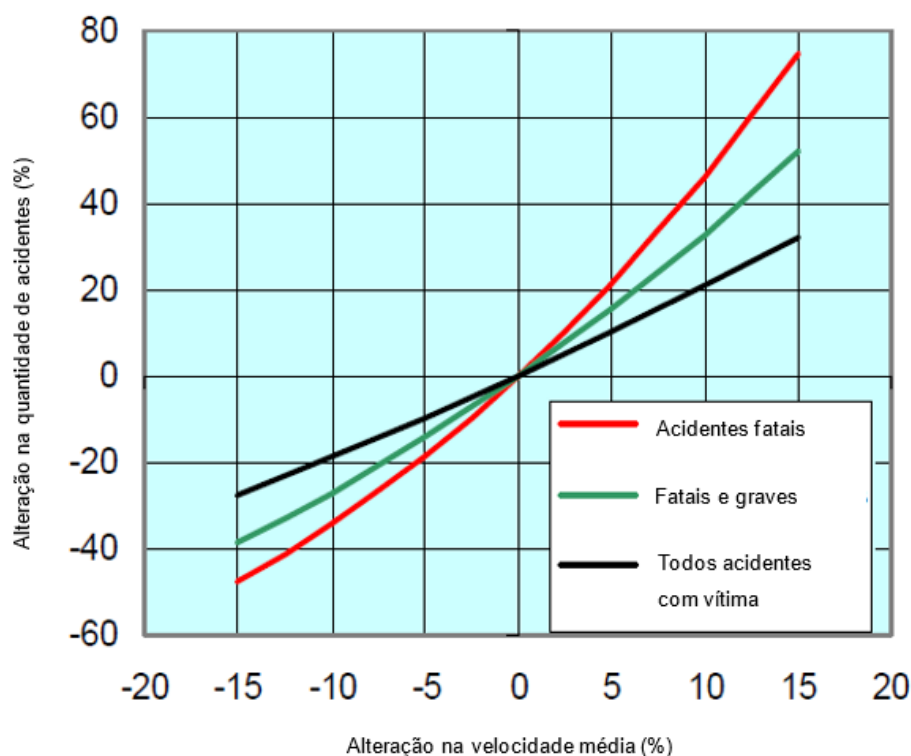
Dentre os diversos estudos revisados, as funções potenciais de Nilsson (2004) foram extensivamente avaliadas e conseguiram representar bem a relação entre os dados de velocidade e acidentes de vias de classificações muito diferentes (ELVIK; CHRISTENSEN; AMUNDSEN, 2004).

Nesse sentido, foram consideradas as que melhor descreviam tal relação por Aarts e Schagen (2006). Elas são baseadas em um estudo observacional antes-depois que descreve, em diferentes níveis de severidade, o efeito de mudanças na velocidade média. Para apresentar a função potência como regra geral, tanto as alterações nos indicadores de acidentes quanto as alterações na velocidade devem ser apresentadas em percentual.

Portanto, para as funções potenciais de Nilsson (2004) isso significaria: 1% de aumento de velocidade resulta em cerca de 2% de aumento no indicador de acidentes com vítima, 3% no indicador de acidentes com vítima grave e 4% no indicador de acidentes fatais conforme pode ser demonstrado na Figura 2. Deve-se notar que a apresentação da mudança de velocidade em percentual significa que para se atingir o mesmo efeito em rodovias a mudança absoluta da velocidade deveria ser maior em relação às vias urbanas. Se tal mudança é apresentada como um número absoluto como em outros métodos, não há diferença na velocidade absoluta em vias de diferentes classificações, como rodovias e vias urbanas (AARTS; SCHAGEN, 2006).

Preliminarmente, é importante ressaltar que a maioria das pesquisas sobre

Figura 2 – Funções potenciais de Nilsson (2004): relação entre mudanças na velocidade média e acidentes



Fonte: ECMT (2006) e Nilsson (2004) adaptado pelo autor

velocidade e frequência de acidentes se baseia em rodovias. Vias arteriais urbanas, no entanto, apresentam significativas diferenças. Estas são caracterizadas pelo pequeno e desigual espaçamento entre semáforos, carregamento de tráfego mais pesado, maior variação de velocidades ao longo do dia e significativa diferença nos períodos entre e fora pico em razão da grande proporção de deslocamentos pendulares (WANG et al., 2018).

Até mesmo os indicadores de acidentes em vias arteriais urbanas são muito maiores do que em vias de outras classificações, indicando que as condições de segurança em vias urbanas carecem de maior atenção (GARBER; GADIRAJU, 1989; WANG et al., 2018).

Pode-se perceber que de fato o aumento das taxas de acidentes tem sido consistentemente encontrado quando a variação da velocidade aumenta. No entanto, essa conclusão é largamente ancorada em pesquisas em rodovias. Ainda é obscura a relação entre variação de velocidade e segurança em vias arteriais urbanas, demandando maior investigação (SOLOMON, 1964; GARBER; GADIRAJU, 1989; WANG et al., 2018).

De qualquer forma, corroborando os estudos em ambiente rodoviário, Wang et al. (2018) também identificou um aumento na frequência de acidentes com o aumento da velocidade média e da variação de velocidade em vias arteriais urbanas de Xangai.

Cameron e Elvik (2010) demonstraram que os efeitos na segurança viária em

relação à velocidade poderiam variar conforme a classificação da via, sendo o ambiente viário um fator preponderante para o modelo de Nilsson (2004). Apesar do modelo parecer satisfatoriamente aplicável a rodovias, não parece aplicável em vias urbanas arteriais. Ao que tudo indica, o ambiente viário é um importante moderador do modelo de Nilsson (2004). A velocidade média como único parâmetro não é suficiente para representar a influência dos acidentes em relação à distribuição de velocidade em vias urbanas (CAMERON; ELVIK, 2010; WANG et al., 2018).

Adicionalmente, Aarts e Schagen (2006) bem como Choudhary et al. (2018) observaram que o impacto de características de tráfego na ocorrência e na severidade de acidentes tem sido largamente estudado e oferece uma percepção útil no desenvolvimento de medidas mitigadoras efetivas.

Nesse sentido, a exata relação entre velocidade e frequência de acidentes parece depender da via e suas características, incluindo largura, densidade de acessos e fluxo de tráfego (ABDEL-ATY; PEMMANABOINA, 2006; AARTS; SCHAGEN, 2006; CHOUDHARY et al., 2018; XU; LIU; WANG, 2016).

2.4 Principais contribuições de estudos anteriores

Independentemente do ambiente, a revisão de Aarts e Schagen (2006) também demonstrou que além da velocidade média, grandes variações de velocidade em uma via específica são relacionadas com altos indicadores de acidentalidade (GARBER; GADIRAJU, 1989; TAYLOR; LYNAM; BARUYA, 2000).

No entanto, é difícil entender essa relação aprofundadamente em razão da maioria dos estudos refletirem a variação de velocidade em 24h na via. Nesse método, a variação da velocidade pode ser influenciada pela diferença de velocidade nos períodos entre e fora pico, e não pelas diferenças entre as velocidades de veículos em um determinado momento. Assim sendo, as diferenças de velocidade podem apenas refletir o volume de tráfego da via (AARTS; SCHAGEN, 2006).

Essas inconsistências podem estar relacionadas à definição sobre variação de velocidade, bem como diferenças entre os métodos de análise e coleta dos dados de velocidade, diferentes fontes e dados de baixa qualidade (CHOUDHARY et al., 2018; WANG et al., 2018). A variação de velocidade tem sido representada por múltiplos indicadores como diferenças entre veículos específicos (KLOEDEN; MCLEAN; GLONEK, 2002; SOLOMON, 1964), diferença nas características de tráfego em trechos de via (QUDDUS, 2013), diferença entre o 90° e 50° percentil de velocidades em cada faixa (GOLOB; RECKER; ALVAREZ, 2004), diferenças de velocidade entre e ao longo das faixas (KOCKELMAN; MA, 2010) e outros (CHOUDHARY et al., 2018).

As diferenças nos resultados também podem ter relação com as diferentes categorias de acidentes. A atual modelagem de previsão de acidentes indica que

diferentes modelos para diferentes categorias de acidentes são inadequados. Assim, abordagens de modelagem multivariada entraram em aplicação (LORD; MANNERING, 2010; MARTENSEN; DUPONT, 2013; IMPRIALOU et al., 2016; HUANG et al., 2017; CHOUDHARY et al., 2018).

Ademais, a variação de velocidade pode também estar relacionada à composição do tráfego (proporção de veículos pesados ou presença de usuários vulneráveis) e a interação entre diferentes grupos de usuários da via. Os estudos discutidos na revisão analisaram principalmente medições pontuais em que basearam suas análises de distribuição de velocidades, mas também diferenças de velocidade longitudinal dos veículos em um trecho de via, por exemplo, relacionados à consistência da geometria da via pode ser um fator de importância (AARTS; SCHAGEN, 2006).

Tanto estudos ao nível de veículos específicos quanto ao nível de trechos de via concluíram que os indicadores de acidentalidade aumentam mais rapidamente em vias projetadas para baixas velocidades do que em vias projetadas para altas velocidades. Essa constatação não somente mantém a maior distinção entre vias rurais e urbanas, mas também para suas demais subclassificações. É muito provável que isso é diretamente relacionado ao volume de interações de tráfego e da composição do tráfego nessas vias, mas também com a geometria destas. Embora seja claro que todos os tipos de via e características de tráfego desempenham um papel importante nessa relação, ainda sabemos insuficientemente qual deles exatamente, em que medida e como interagem (AARTS; SCHAGEN, 2006).

É ainda importante frisar que a maioria dos estudos não se baseou em velocidade instantânea ou próximo da ocorrência dos acidentes de trânsito, estudos esses caracterizados como análises *real-time*.

Outro aspecto importante é que em estudos anteriores a variação de velocidade foi calculada baseada em segmentos agregados de dados de velocidade (como em 5 ou 15 minutos). Tais métodos de cálculo puderam não refletir com precisão a variação da velocidade no nível de segmento de via, bem como métodos de medição fixa também não puderam reunir dados suficientes para variações de velocidade para um veículo específico trafegando por um trecho (MEDINA; TARKO, 2005; WANG et al., 2018). No Quadro 1 estão sumarizados os principais estudos sobre o tema, escolhidos pela relevância entre as demais referências deste trabalho.

Quadro 1 – Principais estudos de relação entre velocidade e acidentes do referencial teórico

Estudo	Ambiente estudado	Principais variáveis analisadas	Principais conclusões
Aarts e Schagen (2006)	Revisão – Urbano e Rodoviário	Diversas	A exata relação entre velocidade e indicadores de acidentes depende de diversos fatores. Apesar de estudos recentes indicarem quais são esses fatores e seus efeitos, o conhecimento ainda é insuficiente para especificar o quanto cada fator interfere.
Cameron e Elvik (2010)	Urbano e Rodoviário	Velocidade média e acidentes	- O ambiente viário é um importante moderador para o modelo de Nilsson (2004); - Um simples parâmetro de velocidade é insuficiente para representar sua influência em acidentes em vias urbanas, devendo suplementada por outros indicadores; - Em rodovias, a velocidade média é suficientemente adequada para representar a influência da velocidade nos acidentes.
Choudhary et al. (2018)	Rodoviário	Variações de velocidade em cada faixa e entre faixas, velocidade média, volume e acidentes	- Os indicadores de acidentes aumentam com a elevação das variações de velocidade na mesma faixa de tráfego, em condições de maior volume de tráfego; - Os indicadores de acidentes aumentam com a elevação das variações de velocidade entre faixas de tráfego, em condições de alta velocidade; - As variações de velocidade na mesma faixa de tráfego são identificadas como um fator de alto risco para acidentes leves em relação aos acidentes graves e fatais, mas as chances de lesões fatais ou graves são maiores; - As variações de velocidade entre faixas de tráfego são relacionadas como um fator de alto risco para veículos pesados em relação aos leves.
Wang et al. (2018)	Urbano	Velocidade média, variações na velocidade, volume de tráfego e acidentes	- Acidentes ocorrem mais frequentemente em altas velocidades médias; 1% de aumento na velocidade média foi encontrado relacionado com 0,7% de maior frequência de acidentes; 1% de aumento na variação de velocidade foi associado a 0,74% de maior frequência de acidentes.

Fonte: Elaborado pelo autor

2.5 Taxas de acidentalidade

Conforme Coca et al. (2012) e Elvik et al. (2015), taxas que relacionam o número absoluto de acidentes com outros parâmetros, como população, frota e extensão do sistema viário possibilitam comparar de maneira adequada a acidentalidade viária em diferentes locais com características semelhantes.

Coca et al. (2012) e Elvik et al. (2015) indicam que o parâmetro mais adequado para mensurar segurança no trânsito é o índice de mortes por quilômetro percorrido pela frota de veículos (veículo-quilômetro) ou, conforme o caso, por quilômetro percorrido pelas pessoas (passageiro-quilômetro). Afinal, a distância percorrida mede efetivamente a exposição ao risco.

No entanto, apesar da quilometragem percorrida em um dado período ser um dado de difícil obtenção, em razão da disponibilidade de bases de dados georreferenciadas, a extensão dos trechos viários é facilmente obtida. Nesse sentido, para os fins deste trabalho os dados serão analisados em termos do número absoluto de acidentes fatais e não fatais, bem como a taxa de acidentes por quilômetro do sistema viário.

3 Aspectos Metodológicos

Conforme apresentado no Capítulo 2, os estudos discutidos na revisão analisaram principalmente medições pontuais com a utilização de velocidades médias. Medições pontuais tendem a afetar o comportamento do usuário, haja vista que ao avistar equipamentos próximos à pista estes podem mudar a sua velocidade e até mesmo frear, com receio de serem penalizados (GRSP, 2008).

Por outro lado, as velocidades médias não representam adequadamente a velocidade operacional da via. Afinal, a tendência da velocidade média é de se concentrar nas velocidades dos períodos de pico, justamente nos períodos aos quais a velocidade tende a reduzir em razão do excesso de veículos. Nesse sentido, a **velocidade operacional** é uma variável que representa a velocidade praticada da via mais adequadamente, sendo neste trabalho assim designada.

É importante ressaltar que não é objeto de estudo deste trabalho a análise de velocidades no momento dos acidentes de trânsito, caracterizados como estudos *real-time*, mas sim estabelecer comparação com parâmetros operacionais do sistema viário. No caso, a própria **velocidade operacional** dos respectivos segmentos viários.

Visando ainda não afetar o comportamento do usuário com os tradicionais métodos de coleta de velocidades e abranger um volume ainda mais significativo de trechos viários, buscou-se uma base de dados com coleta passiva das informações de velocidade, ou seja, sem a percepção do condutor para garantir a realidade das informações através de um aplicativo *mobile*.

Por fim, por questões de impacto da pandemia de COVID-19 e de disponibilidade de informações, optou-se por utilizar o ano base de 2019.

Na sequência serão apresentados detalhadamente as bases e métodos utilizados para coleta, tratamento e relacionamento dos dados utilizados neste trabalho.

3.1 Bases de dados

Primeiramente, foi realizada uma busca entre as bases disponíveis para a realização dos estudos. Após a comparação entre diferentes bases disponíveis, bem como a facilidade de obtê-las e a granularidade dos dados disponíveis, optou-se pela base de dados *Uber Movement Speeds* (UBER, 2022).

Uber (2022) disponibiliza dados de tempos de viagem, velocidades e níveis de utilização de mobilidade em diversas cidades pelo mundo. Na América do Sul, disponibiliza dados de Bogotá (Colômbia), Buenos Aires (Argentina), Santiago (Chile) e São Paulo (Brasil). São Paulo é a única cidade brasileira disponível, sendo a principal

razão da sua escolha como cidade de análise neste trabalho.

Além dos dados de velocidade, as informações base deste trabalho, também foram utilizadas camadas em GIS disponibilizadas por São Paulo (2022), incluindo a camada *Acidentes*.

E, por último, foi utilizada como base do sistema viário o mapa do *OpenStreetMap* essencialmente em razão da interoperabilidade com Uber (2022).

3.1.1 Uber Movement Speeds

Uber Movement Speeds é um conjunto de dados de velocidade do Uber Movement. Esse conjunto fornece dados históricos de velocidade anonimizados e agregados em trechos de vias de forma georreferenciada. Para os dados trimestrais, a cada trecho viário, ano, trimestre e hora são fornecidas as informações do Quadro 2 (UBER, 2022).

Quadro 2 – Dicionário de Dados — Uber Movement Speeds

Campo	Descrição
<i>year</i>	Ano
<i>quarter</i>	Trimestre (1–4)
<i>hour_of_day</i>	Hora do dia (0–23)
<i>segment_id</i>	[Obsoleto] ID do trecho viário
<i>start_junction_id</i>	[Obsoleto] ID da interseção de início do trecho viário
<i>end_junction_id</i>	[Obsoleto] ID da interseção de final do trecho viário
<i>osm_way_id</i>	ID do trecho viário no OpenStreetMap
<i>osm_start_node_id</i>	ID da interseção de início do trecho viário no OpenStreetMap
<i>osm_end_node_id</i>	ID da interseção de término do trecho viário no OpenStreetMap
<i>speed_kph_mean</i>	Velocidade média dos veículos da Uber no trecho viário (km/h)
<i>speed_kph_stddev</i>	Desvio padrão das velocidades no trecho viário (km/h)
<i>speed_kph_p50</i>	50° percentil (mediana) das velocidades dos veículos da Uber no trecho viário (km/h)
<i>speed_kph_p85</i>	85° percentil das velocidades dos veículos da Uber no trecho viário (km/h)

Fonte: Elaboração própria

Esse conjunto de dados apenas apresenta as informações de velocidade nos trechos viários com ao menos 5 viagens no período, sendo que o **speed_kph_p50** e o **speed_kph_p85** somente são disponibilizados quando há viagens suficientes para apresentar um valor confiável (UBER, 2022).

A variável de maior interesse nesse conjunto de dados é a **speed_kph_p85**, pois indica a **velocidade operacional** neste trecho.

3.1.2 GeoSampa

Uma das razões da escolha do município de São Paulo como objeto de pesquisa foi a disponibilidade de dados georreferenciados de acidentes de forma simplificada através da plataforma GeoSampa (SÃO PAULO, 2022). A plataforma GeoSampa reúne diversos dados georreferenciados sobre o município de São Paulo, dentre eles Acidentes, Municípios da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e a Classificação Viária.

3.1.2.1 Camada Acidentes

Foi utilizada a camada *Acidentes* no grupo e subgrupo *Sistema Viário*. Essa camada é descrita da seguinte forma por São Paulo (2022):

As fontes utilizadas para obtenção dos dados presentes na plataforma foram: o INFOCRIM (Sistema de Informação Criminal), uma ferramenta de acesso ao Registro Digital de Ocorrências (RDO) da Polícia Civil, cujas consultas foram disponibilizadas à [Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo] CET[-SP] pela Secretaria de Segurança Pública do Estado de São Paulo; os registros do Instituto Médico Legal — IML, que complementaram as informações do INFOCRIM na identificação das vítimas que perderam a vida em acidentes de trânsito.

Percebe-se que esta base de dados possui apenas acidentes de trânsito com vítima. Além disso, nesta base de dados não é realizada qualificação das informações registradas pelas autoridades policiais. Ou seja, não é realizado o cruzamento dos registros policiais com os dados dos sistemas de saúde nos termos recomendados por Brasil (2017). Dessa forma, em geral, não é possível identificar vítimas fatais *ex situ* e os dados apresentam-se ligeiramente fora das definições de ABNT (2020). No entanto, apesar da subestimação de algumas informações e superestimação de outras, ainda é uma base qualificada para os fins aos quais este trabalho se destina.

Infelizmente São Paulo (2022), apesar de disponibilizar metadados, não apresenta no nível de detalhe esperado e não apresenta nenhum dicionário de dados para descrever cada um dos campos dessa base de dados, mas com base na exploração dos dados assumiu-se conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Dicionário de Dados — Camada Acidentes

Campo	Descrição
<i>aci_id</i>	ID do acidente
<i>aci_data</i>	Data do acidente no formato AAAAMMDD
<i>aci_hora</i>	Hora do acidente no formato hh:mm:ss
<i>aci_logrda</i>	Nome do logradouro do acidente
<i>aci_altnum</i>	Número do local ao qual ocorreu o acidente no logradouro
<i>aci_ferido</i>	Quantidade de vítimas feridas
<i>aci_fatais</i>	Quantidade de vítimas fatais
<i>aci_auto</i>	Identificador de envolvimento de automóvel (0 ou 1)
<i>aci_moto</i>	Identificador de envolvimento de motocicleta (0 ou 1)
<i>aci_onibus</i>	Identificador de envolvimento de ônibus (0 ou 1)
<i>aci_caminh</i>	Identificador de envolvimento de caminhão (0 ou 1)
<i>aci_bicicl</i>	Identificador de envolvimento de bicicleta (0 ou 1)
<i>aci_outros</i>	Identificador de envolvimento de outros tipos de veículos (0 ou 1)
<i>aci_codigo</i>	Código do acidente (2. COM VÍTIMA ou 4. ATROPELAMENTO)

Fonte: Elaboração própria

3.1.2.2 Camada Municípios da RMSP

Além da camada citada anteriormente, foi necessário utilizar a camada *Municípios da RMSP* no grupo e subgrupo *Limites Administrativos* que é descrita da seguinte forma: “Extensão da capital paulista, a Região Metropolitana de São Paulo é composta por 39 municípios formando uma mancha urbana contínua” (SÃO PAULO, 2022). Como essa camada foi utilizada apenas para os fins dos limites do município de São Paulo, não será realizado o detalhamento desta.

3.1.2.3 Camada Classificação Viária CET

Foi utilizada também a camada *Classificação Viária CET* no grupo e subgrupo *Sistema Viário*. Essa camada é descrita da seguinte forma: “O arquivo retrata a classificação viária da cidade de São Paulo de acordo com o estabelecido na portaria DSV.G 018/19”(SÃO PAULO, 2022).

Infelizmente São Paulo (2022), apesar de também disponibilizar metadados relacionados a essa camada, não apresenta no nível de detalhe esperado e também não apresenta nenhum dicionário de dados para descrever cada um dos campos dessa base de dados, mas com base na exploração dos dados assumiu-se conforme Quadro 4.

Quadro 4 – Dicionário de Dados — Camada Classificação Viária CET

Campo	Descrição
<i>cd_identificador</i>	Código identificador
<i>nm_logradouro_completo</i>	Nome completo do logradouro
<i>cd_identificador_logradouro</i>	Código identificador do logradouro
<i>cd_identificador_segmento_logradouro</i>	Código identificador do segmento de logradouro
<i>cd_logradouro</i>	Código de logradouro
<i>cd_identificador_tipo_classificacao_viaria</i>	Código identificador de classificação viária (1-6)
<i>dc_tipo_classificacao_viaria</i>	Descrição de classificação viária (Local, Coletora, Arterial, Vias de pedestre, VTR — Via de Trânsito Rápido, Rodovia)
<i>cd_tipo_logradouro</i>	Tipo de logradouro (VD, R, AV...)
<i>cd_titulo_logradouro</i>	Título no nome do logradouro (PDE, CEL, BRIG, PRES...)
<i>cd_preposicao_logradouro</i>	Preposição no início do nome do logradouro
<i>nm_logradouro</i>	Nome do logradouro
<i>cd_numero_inicial_par_logradouro</i>	Número inicial par do segmento de logradouro
<i>cd_numero_final_par_logradouro</i>	Número final par do segmento de logradouro
<i>cd_numero_inicial_impar_logradouro</i>	Número inicial ímpar do segmento de logradouro
<i>cd_numero_final_impar_logradouro</i>	Número final ímpar do segmento de logradouro
<i>sg_fonte_original</i>	Fonte da informação (CET-SP)

Fonte: Elaboração própria

3.1.3 OpenStreetMap

O georreferenciamento do sistema viário da Uber (2022) é realizado através do *OpenStreetMap*. O *OpenStreetMap* é uma plataforma voluntária de mapeadores que contribuem e mantêm atualizados os dados sobre vias e outros elementos mapeáveis pelo mundo (OPENSTREETMAP, 2022). Nesse sentido, como os mapas são constantemente alterados e atualizados, os dados de Uber (2022) são georreferenciados através de um dia específico do mapa do *OpenStreetMap*.

Por ser uma base construída de forma voluntária, tende a diferir das bases oficiais. Todavia, por análises exploratórias, se observou grande aderência entre o traçado desta base e da base oficial do município de São Paulo. Nesse sentido, as semelhanças identificadas foram suficientes para o propósito do trabalho. Não foram necessários tratamentos adicionais nesta base.

3.2 Ferramentas

A coleta e tratamento dos dados buscou ferramentas gratuitas para a realização desta fase, especialmente para permitir a reprodução do método em futuros estudos.

3.2.1 Visual Studio Code

Para realização da manipulação dos dados optou-se pelo Ambiente de Desenvolvimento Integrado *Visual Studio Code*. O *Visual Studio Code* é um ambiente largamente utilizado por programadores de todo o mundo com amplas possibilidades de customização. É gratuito e de código aberto (MICROSOFT, 2022).

3.2.2 Movement-data-toolkit

A primeira ferramenta utilizada para coleta dos dados foi o pacote *movement-data-toolkit* (SCHNURR, 2020). Trata-se de um pacote desenvolvido em linguagem *Node* por Uber (2022) e Schnurr (2020), indicado por Uber (2022) para manipulação dos dados.

Essa ferramenta foi utilizada para extração dos dados de Uber (2022), sendo a fonte de vários insumos deste estudo, conforme será detalhado na sequência.

3.2.3 QGIS

Para realização da manipulação e edição das informações geoespaciais, optou-se pelo uso do QGIS, já que é um software gratuito e de código aberto de sistema de informação geográfica (QGIS, 2022).

3.3 Coleta e tratamento de dados

Primeiramente foi realizada a extração da base de dados de velocidades através do pacote *Movement-data-toolkit* com a utilização do seguinte comando:

```
mdt speeds-to-geojson --no-twin sao_paulo 2019-01-01 2019-12-31  
> sao_paulo-speeds_no-twin.geojson
```

O comando `speeds-to-geojson` baixa e processa os dados de velocidade em um arquivo de formato *geojson* (SCHNURR, 2020). Foi utilizada a opção `--no-twin` para que os trechos viários não fossem subdivididos por sentido e as informações de velocidade não fossem excessivamente granularizadas.

No entanto, é importante ressaltar que grandes avenidas, ao qual o *OpenStreet-Map* já segrega por sentido, são mantidas segregadas por sentido. Sem essa opção,

vias locais sem segregação por canteiro central, por exemplo, teriam um segmento viário por sentido.

Após a exportação dos dados e tentativa de carregá-los no *QGIS*, percebeu-se que havia um erro no carregamento do arquivo. No entanto, após carregar no *Kepler.gl*, uma ferramenta de código aberto também para análise geoespacial (VIS.GL, 2022), percebeu-se que era possível abrir o arquivo.

Após alguns testes, percebeu-se que todas as informações necessárias encontravam-se no arquivo, mas havia alguma falha na construção deste. Nesse sentido, optou-se pela reconstrução do arquivo `sao_paulo-speeds_no-twin.geojson` através do Algoritmo `geojson_transform_shp.py` gerando a camada *Sistema_Viario_RMSP_OSM* com as informações do sistema viário e suas respectivas velocidades.

Realizada a reconstrução do arquivo, e sua importação no *QGIS*, observou-se que o sistema viário era bem mais extenso do que o sistema viário do município de São Paulo. Ao que tudo indica, são geradas as informações de todo o sistema viário utilizado por veículos da Uber na Região Metropolitana de São Paulo.

Dessa forma, optou-se por realizar o recorte dos limites administrativos do município de São Paulo da camada *Municípios da RMSP* do *GeoSampa*, criando a camada *Limite_Municipio_Sao_Paulo*. Na sequência, foi realizado o recorte da camada *Sistema_Viario_RMSP_OSM* com a sobreposição da camada *Limite_Municipio_Sao_Paulo*, gerando a camada *Sistema_Viario_Sao_Paulo_OSM*.

Após o carregamento da camada *Sistema_Viario_Sao_Paulo_OSM*, foi desenvolvida uma análise exploratória de alguns trechos viários do sistema arterial como um processo de mineração de dados em que foram identificados trechos com **speed_kph_p85** muito acima da velocidade regulamentada. Nesse sentido, foi realizada nova pesquisa nas informações de Uber (2022), ao qual se identificou que **speed_kph_p85** não era a velocidade operacional média de todo o período do comando, mas apenas a velocidade operacional média de um período específico.

Para corrigir essa inconsistência foi realizado o seguinte comando:

```
mdt speeds-transform stats sao_paulo 2019-01-01 2019-12-31 >
sao_paulo-speeds_q.csv
```

Por meio deste comando foram obtidas todas as informações possíveis de todos os trechos viários com informações granularizadas por trimestre e hora do dia em cerca de 25 milhões de linhas. Através do Algoritmo `speeds_transformation.py` foi realizada a média da **speed_kph_p85** de todos os trechos viários com todas as informações disponíveis, alcançando resultados mais realistas em comparação com os dados fornecidos diretamente pelo comando `speeds-to-geojson`.

Na sequência, um algoritmo, posteriormente inserido no

Algoritmo geojson_transform_shp.py realizou a substituição dos valores originalmente calculados para **speed_kph_p85** na camada *Sistema_Viario_Sao_Paulo_OSM* para os novos valores calculados.

Posteriormente, foi realizado o carregamento da camada *Acidentes* no *QGIS*. Logo em seguida foi realizada a seleção apenas dos acidentes ocorridos em 2019, eliminados os demais, gerando a nova camada *Acidentes_2019*.

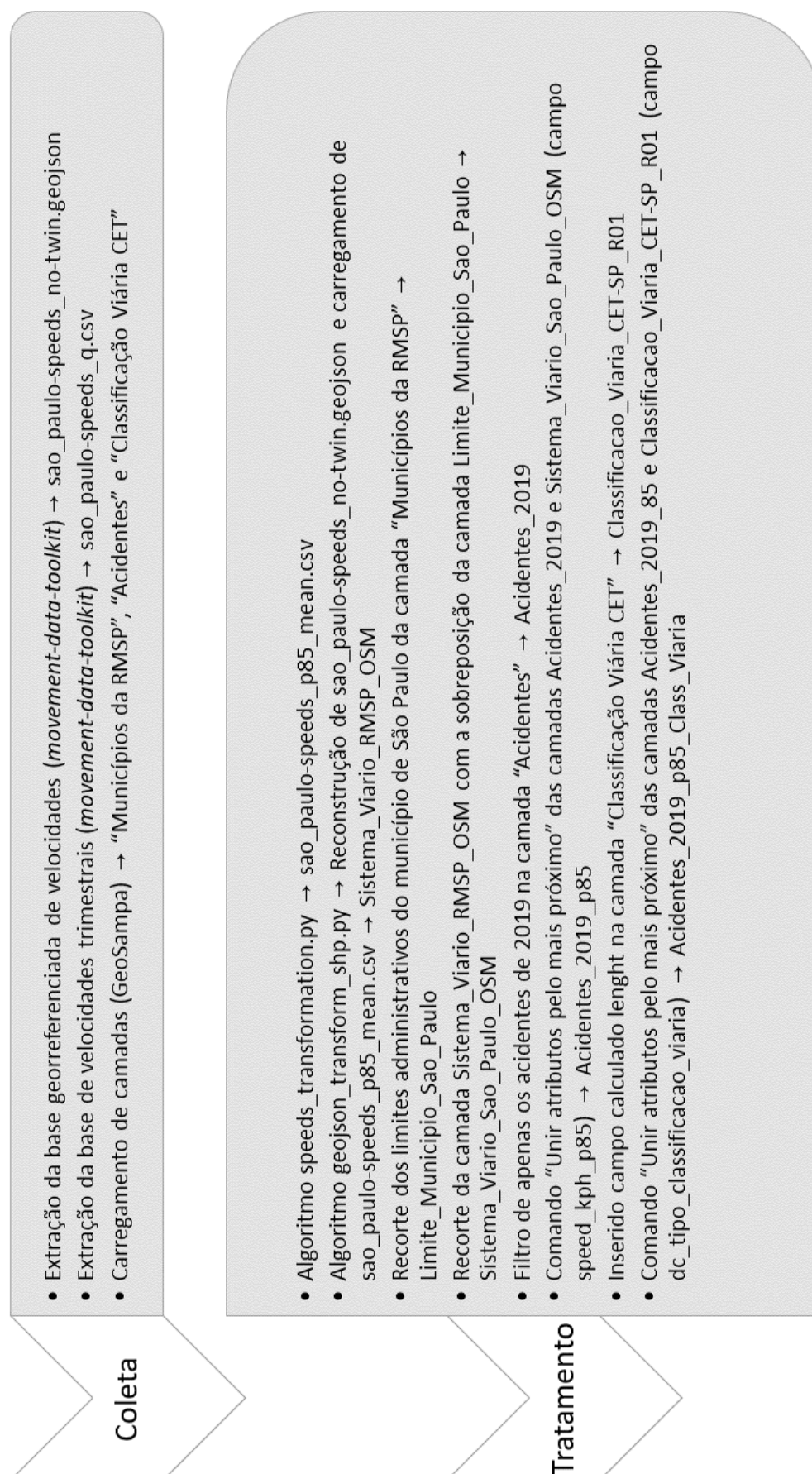
Através do comando `Unir atributos pelo mais próximo` com a camada *Acidentes_2019* como camada de entrada e a camada *Sistema_Viario_Sao_Paulo_OSM* como camada de entrada 2 foi realizada a união espacial dos atributos. O campo para cópia foi o **speed_kph_p85**, mantendo todos os demais parâmetros com a forma padrão. Após a realização do comando foi gerada a nova camada *Acidentes_2019_p85* que, além de todas as informações originárias da camada *Acidentes_2019*, incluiu a **speed_kph_p85** do trecho viário mais próximo, a distância e algumas outras informações complementares. Do universo de 13.932 acidentes, 12.937 (92,85%) obtiveram a informação de velocidade do trecho viário mais próximo.

Ainda, na sequência, foi realizado o carregamento da camada *Classificação Viária CET*. Através da calculadora de campo também foi inserida a coluna *length* com a utilização da função `$length`, que retorna o comprimento de cada trecho viário, gerando a camada *Classificacao_Viaria_CET-SP_R01*. E novamente foi utilizado o comando `Unir atributos pelo mais próximo` com a camada *Acidentes_2019_p85* como camada de entrada e a camada *Classificacao_Viaria_CET-SP_R01* como camada de entrada 2. O campo para cópia foi o **dc_tipo_classificacao_viaria**, mantendo todos os demais parâmetros com a forma padrão. Após a realização do comando foi gerada a nova camada *Acidentes_2019_p85_Class_Viaria* que, além de todas as informações originárias da camada *Acidentes_2019_p85*, incluiu a **dc_tipo_classificacao_viaria** do trecho viário mais próximo, a distância e algumas outras informações complementares. Todas essas etapas foram sumarizadas na Figura 3.

Importante ressaltar que o comando `Unir atributos pelo mais próximo` apenas une atributos pelo mais próximo. Como as coordenadas não representam o local exato do acidente, a velocidade associada pode ser de outra via ou pista, e não necessariamente de onde ocorreu o acidente. No entanto, para os fins deste trabalho, ainda que isso ocorra, as informações continuam adequadas para o objeto de estudo.

Feito isso, as tabelas de atributos das camadas *Acidentes_2019_p85_Class_Viaria*, *Classificacao_Viaria_CET-SP_R01* e *Sistema_Viario_Sao_Paulo_OSM* foram exportadas no formato de planilha eletrônica para manipulação dos resultados demonstrados na sequência.

Figura 3 – Fluxograma de coleta e tratamento de dados



Fonte: Elaborado pelo autor

4 Resultados

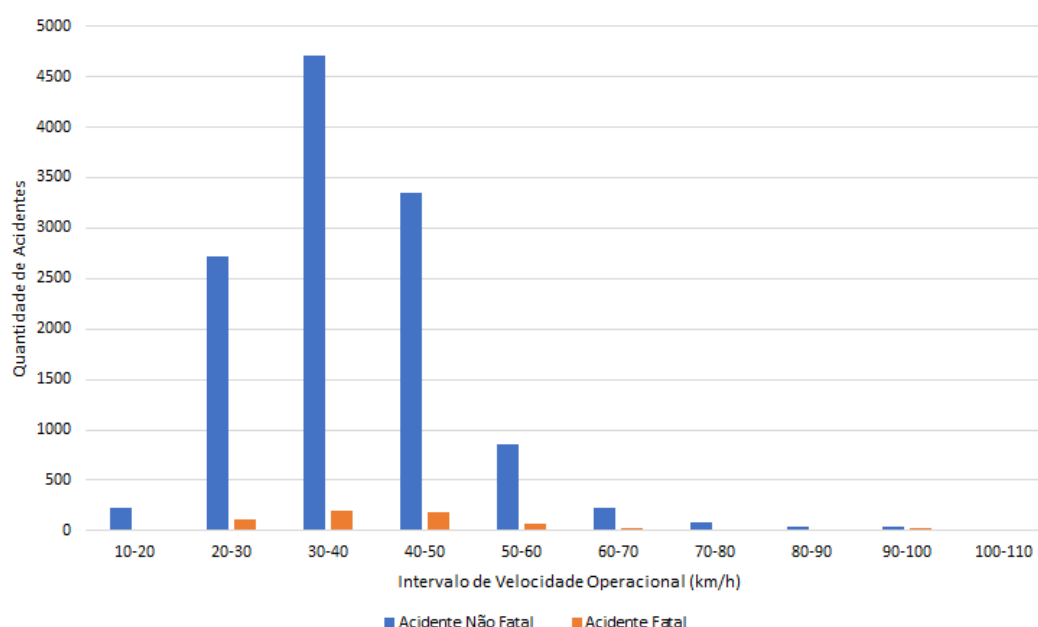
Neste capítulo serão discutidos os resultados apontados através do método proposto, apresentando as principais constatações e descobertas.

4.1 Discussão

Primeiramente, é necessário esclarecer que o intervalo de 0 a 10 km/h foi desconsiderado para os fins deste estudo. Este intervalo totalizou 2,937 km (0,016% da extensão viária total com velocidade associada) e agrupou 1 acidente (0,008% em relação ao total de acidentes com velocidade associada). Ao explorar os dados, se observou um erro na união de atributos, associando este acidente fatal que, na verdade, ocorreu em um trecho de rodovia com 77,771 km/h de velocidade operacional, a um acesso à rodovia com 7,788 km/h de velocidade operacional.

Observados os acidentes com velocidade associada agrupados em intervalos de velocidade, verifica-se que os acidentes tendem a ocorrer em sua grande maioria em velocidades menores conforme Figura 4.

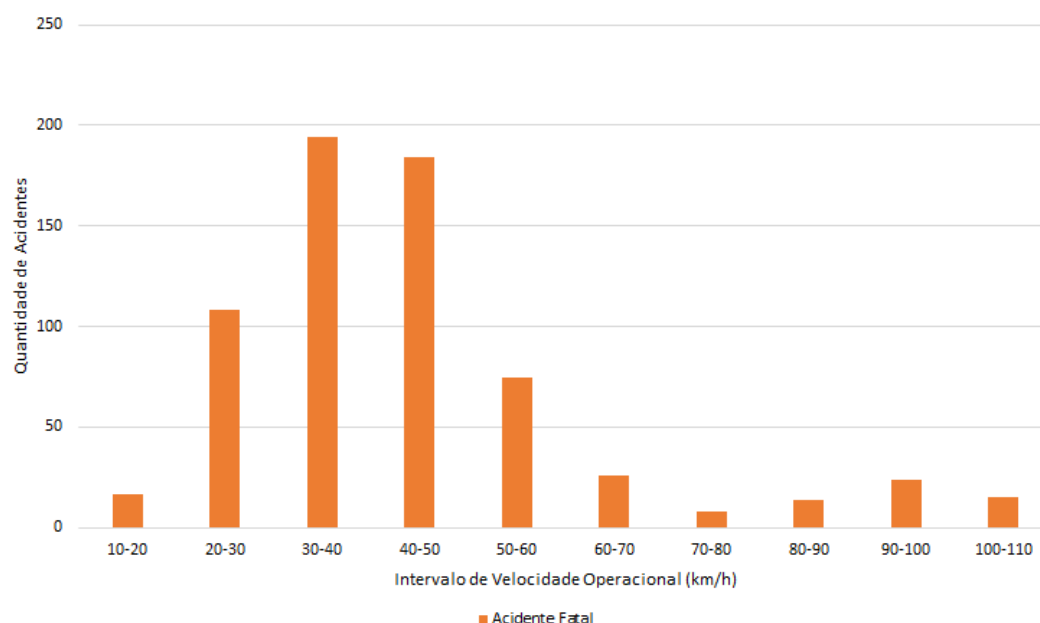
Figura 4 – Acidentes por Intervalo de Velocidade Operacional



Fonte: Elaborado pelo autor

A distribuição de acidentes fatais segue uma tendência semelhante, conforme Figura 5.

Figura 5 – Acidentes Fatais por Intervalo de Velocidade Operacional



Fonte: Elaborado pelo autor

Algumas hipóteses podem contribuir para compreensão das razões aos quais não foi identificada nenhuma relação relevante. A malha viária com velocidade operacional de 30 a 40 km/h no município de São Paulo possui 3.429,608 km (30,135% da extensão viária total com velocidade associada), sendo o segundo maior grupo. O maior grupo é o de velocidade operacional de 20 a 30 km/h, ao qual possui 4.838,594 km (42,516% da extensão viária total com velocidade associada).

Por outro lado, a velocidade operacional de 30 a 40 km/h está normalmente relacionada às vias com classificação coletora, sendo usualmente impactadas por maiores volumes de tráfego absorvido de vias locais para distribuição ao sistema arterial. Portanto, conforme observado na Seção 2.2, como há maior exposição ao risco neste intervalo, consequentemente, é esperado que ocorram mais acidentes.

Ainda em referência aos estudos apresentados na Fundamentação Teórica, outro aspecto relevante é se tratar de um grupo usualmente com velocidade máxima permitida de 40 km/h e características intrínsecas à operação de tráfego urbano, como tráfego interrompido, que usualmente dificulta velocidades excessivas.

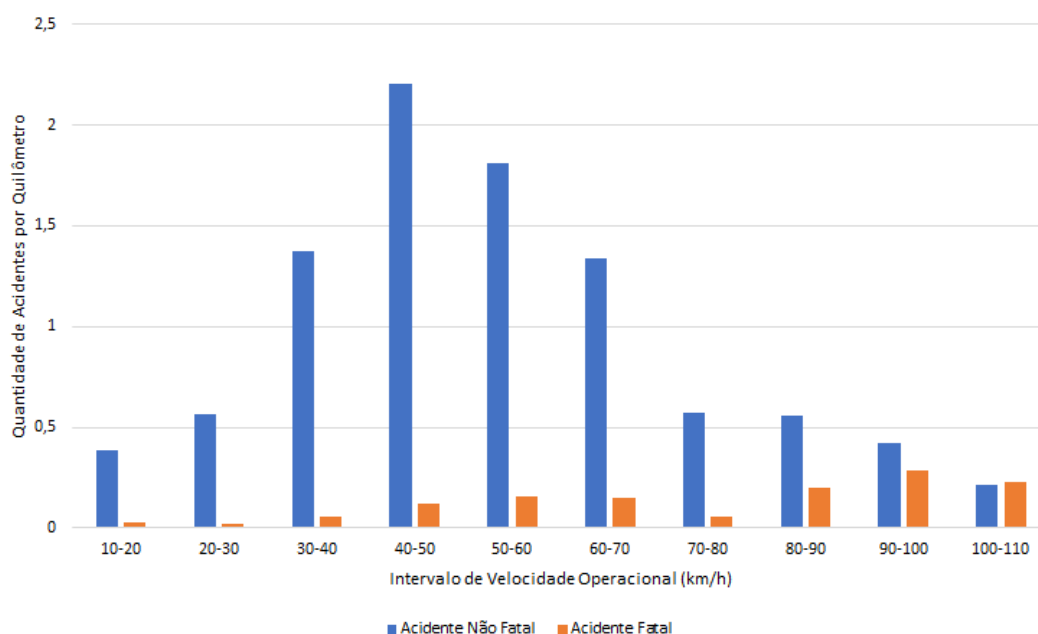
Nesse sentido, buscou-se relativizar os dados em relação a alguma variável de exposição ao risco de acidentes de trânsito. Optou-se pela extensão do sistema viário pela facilidade de obtenção do dado. No entanto, conforme citado na Seção 2.5, o ideal seria a quantidade de quilômetros percorridos pela frota de veículos (veículo-quilômetro).

Ao relativizar a quantidade de acidentes pela extensão do sistema viário agrupado no respectivo intervalo de velocidade operacional, extensão esta caracterizada

pela soma da extensão de todos os trechos viários no respectivo intervalo de velocidade operacional, observa-se uma distribuição como a Figura 4. No entanto, com uma melhor distribuição dos intervalos e um pequeno desvio, já que o pico desloca-se para o intervalo de 40 a 50 km/h conforme Figura 6.

Isso pode ser devido ao fato que a extensão viária difere para cada grupo. Conforme observado na literatura, quanto maior a exposição ao risco, maior a tendência a ocorrer acidentes. Portanto, nos intervalos de velocidade com maior extensão viária tendem a ocorrer mais acidentes. Desta forma, ao relativizar a quantidade de acidentes pela extensão do respectivo grupo do sistema viário busca-se comparar os diferentes grupos na perspectiva de uma teórica exposição ao risco similar.

Figura 6 – Acidentes por Quilômetro por Intervalo de Velocidade Operacional



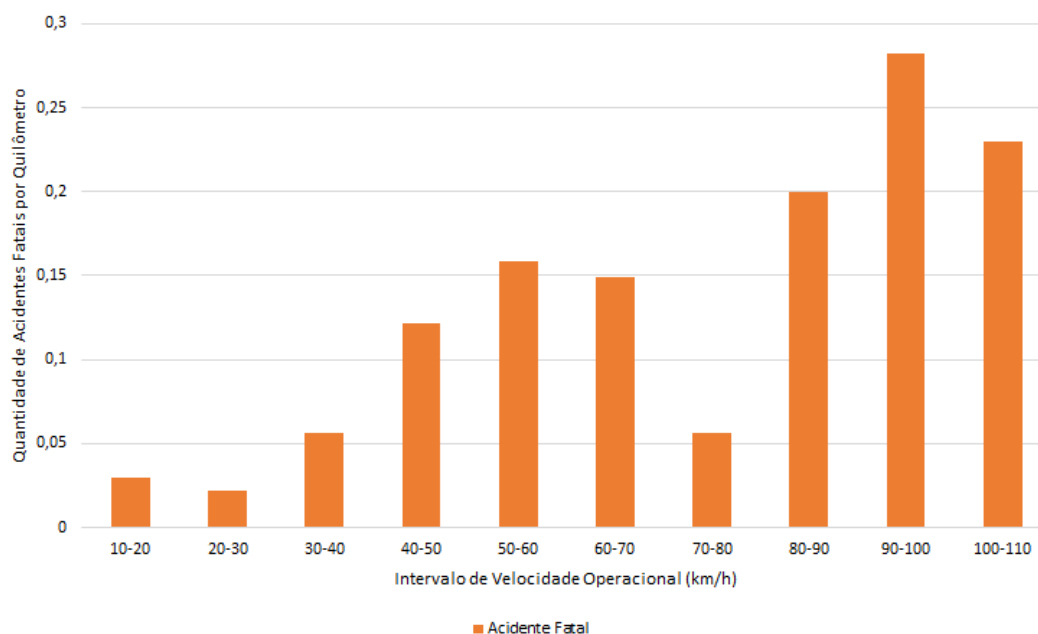
Fonte: Elaborado pelo autor

Ao relativizar a quantidade de acidentes fatais pela extensão do sistema viário agrupado no respectivo intervalo de velocidade operacional, observa-se uma distribuição esperada pela literatura. À medida que a velocidade operacional aumenta, a severidade dos acidentes tende a aumentar proporcionalmente conforme demonstrado na Figura 7.

Importante ressaltar que a divergência do intervalo 70 a 80 km/h em relação aos demais intervalos parece estar relacionada à associação dos acidentes com o trecho mais próximo. Essas velocidades normalmente encontram-se em vias classificadas como *Via de Trânsito Rápido*, que usualmente possuem várias pistas e em uma mesma via as pistas podem possuir diferentes classificações, velocidades regulamentadas e velocidades operacionais. Como as coordenadas não representam o local exato do acidente, a velocidade associada pode ser de outra pista.

Importante ainda citar que somente 62,869% da extensão do sistema viário possui velocidade associada, portanto todos os acidentes estão relacionados a esta parcela do sistema viário por intervalo de velocidade. Conforme já apresentado na Subseção 3.1.1, a **velocidade operacional** somente é disponibilizada quando há viagens suficientes para apresentar um valor confiável. Através de análise exploratória observou-se que esses trechos, em grande parte, se tratam de vias locais.

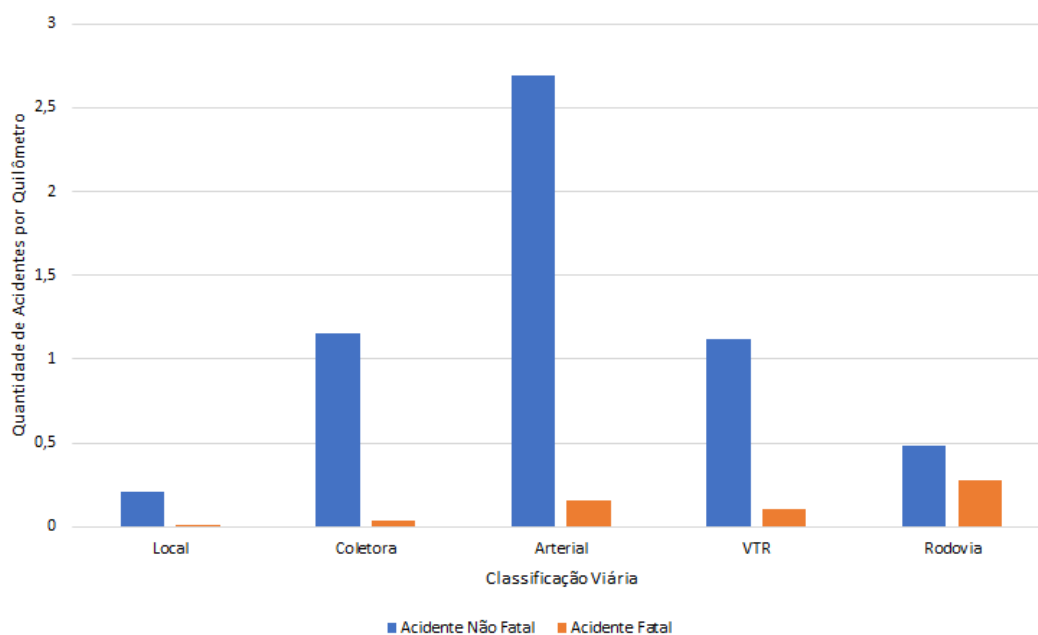
Figura 7 – Acidentes Fatais por Quilômetro por Intervalo de Velocidade Operacional



Fonte: Elaborado pelo autor

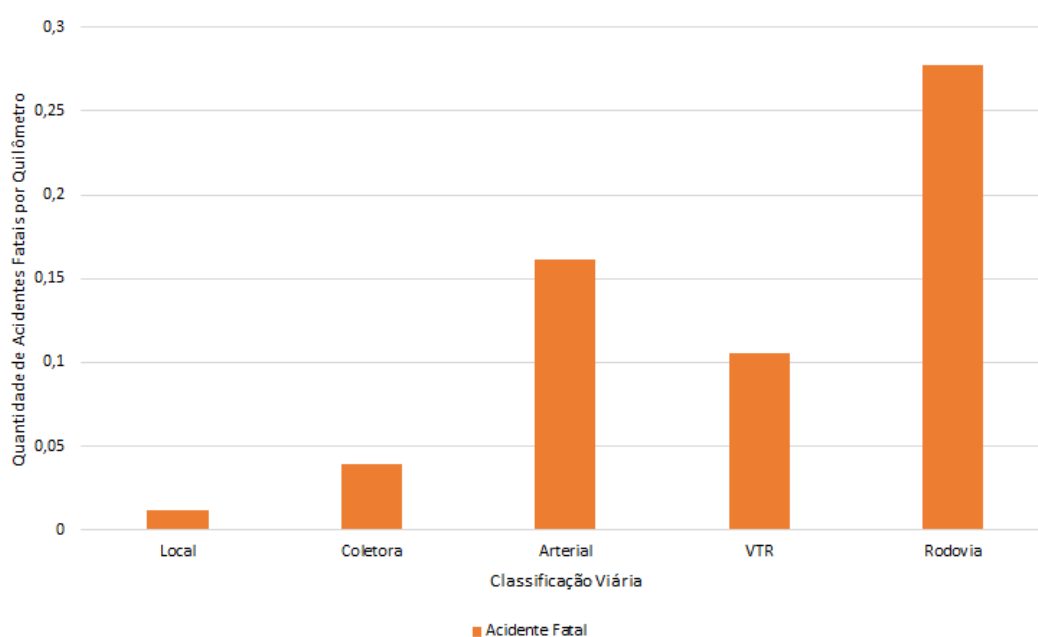
No entanto, ao realizar o agrupamento por classificação viária os resultados demonstram-se similares, conforme pode-se observar na Figura 8 e na Figura 9. Frisa-se que 19 acidentes (0,133% do total) em vias classificadas como "*Vias de pedestre*" foram desconsiderados nesta análise devido à ausência de circulação veicular nestas, sendo um evidente erro de associação já apresentado no Capítulo 3.

Figura 8 – Acidentes por Quilômetro por Classificação Viária



Fonte: Elaborado pelo autor

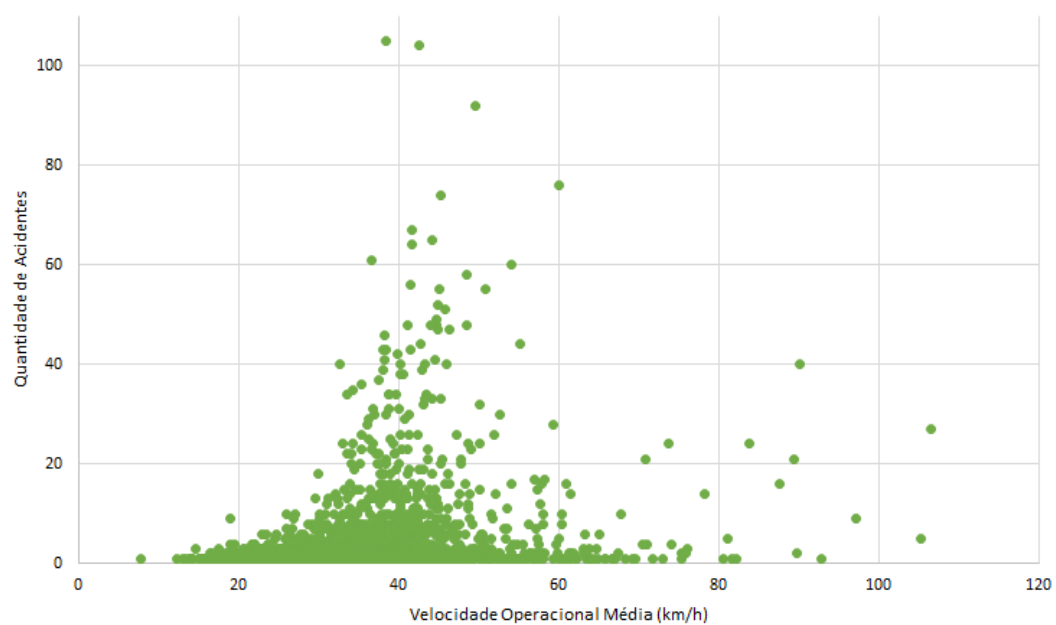
Figura 9 – Acidentes Fatais por Quilômetro por Classificação Viária



Fonte: Elaborado pelo autor

Por fim, ao agrupar por via a quantidade de acidentes e realizar a média das velocidades operacionais dos trechos viários alcançamos a Figura 10. Como observado anteriormente, os acidentes concentram-se nas vias de 30 a 50 km/h.

Figura 10 – Acidentes por Velocidade Operacional Média da Via



Fonte: Elaborado pelo autor

5 Conclusão

Conforme objetivos deste trabalho, foi possível realizar uma revisão bibliográfica sobre a relação entre velocidade e acidentes de trânsito, garantindo o embasamento teórico para análise dos resultados e conclusões sobre a contribuição deste trabalho para a literatura acadêmica.

Os estudos foram conduzidos por bases georreferenciadas e com dados de velocidade fornecidas por aplicativos *mobile* para realização de uma análise exploratória da relação entre velocidade e acidentes de trânsito. Nesse sentido, foi possível compreender melhor o fenômeno e contribuir positivamente com a comunidade acadêmica sobre o tema, haja vista a inovação metodológica e utilização de um grande volume de dados.

Com base nos resultados apresentados, conclui-se que a velocidade desempenha um papel essencial na severidade, possui forte relação com os acidentes de trânsito e não deve ser negligenciada em áreas urbanas. A velocidade impacta a quantidade e a severidade dos acidentes. Quanto maior a **velocidade operacional** de uma trecho, maior a tendência de acidentes fatais.

No entanto, não há evidências suficientes para indicar essa relação com a quantidade de acidentes não fatais, devendo ser melhor explorada em estudos futuros. Afinal, a concentração de acidentes não fatais é em vias de baixa **velocidade operacional**.

A maior contribuição deste trabalho foi evidenciar a relação entre velocidade e acidentes de trânsito com base em um grande volume de dados em uma cidade brasileira, haja vista que diversos estudos anteriores basearam-se em informações empíricas e com baixo volume de dados.

Como trabalhos futuros sugere-se que sejam desenvolvidos mais estudos para analisar melhor a relação no grupo dos acidentes não fatais, bem como no grupo de vias locais e coletoras. Afinal, é justamente onde a maioria dos acidentes ocorre e há poucos estudos sobre o tema, carecendo de maiores investigações. Sugere-se ainda que sejam desenvolvidos estudos mais amplos e abrangentes sobre o tema contemplando várias cidades de diferentes regiões do mundo para compreensão dessa relação em uma perspectiva mais global.

Por fim, destaca-se que neste trabalho não foi analisada a velocidade média, o desvio padrão e a velocidade regulamentada, bem como suas respectivas relações com a velocidade operacional, variáveis essas indicadas pela literatura como importantes fatores de impacto na acidentalidade. Nesse sentido, também sugere-se que futuros trabalhos as explorem.

Referências

AARTS, L.; SCHAGEN, I. van. Driving speed and the risk of road crashes: A review. **Accident Analysis & Prevention**, Elsevier BV, v. 38, n. 2, p. 215–224, mar. 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.07.004>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado 5 vezes nas páginas 17, 18, 20, 21 e 22.

ABDEL-ATY, M.; PEMMANABOINA, R. Calibrating a real-time traffic crash-prediction model using archived weather and ITS traffic data. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), v. 7, n. 2, p. 167–174, jun. 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/tits.2006.874710>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 20.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10697**: Pesquisa de sinistros de trânsito — terminologia. Rio de Janeiro, 2020. 20 p. Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/8244/abnt-nbr10697-pesquisa-de-sinistros-de-transito-terminologia>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 26.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Conselho Nacional de Trânsito. Resolução CONTRAN nº 870, de 13 de setembro de 2021. Dispõe sobre o plano nacional de redução de mortes e lesões no trânsito (PNATTRANS), instituído pela lei nº 13.614, de 11 de janeiro de 2018. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 set. 2021. Seção 1, p. 42. Disponível em: <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/resolucao8702021.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 13.

BRASIL. Ministério da Saúde, Universidade Federal de Goiás. **Guia Vida no Trânsito**. Brasília, 2017. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/guia_vida_transito_2017.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 26.

CAMERON, M.; ELVIK, R. Nilsson's power model connecting speed and road trauma: Applicability by road type and alternative models for urban roads. **Accident Analysis & Prevention**, Elsevier BV, v. 42, n. 6, p. 1908–1915, nov. 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.05.012>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado 3 vezes nas páginas 19, 20 e 22.

CHOUDHARY, P. et al. Impacts of speed variations on freeway crashes by severity and vehicle type. **Accident Analysis & Prevention**, Elsevier BV, v. 121, p. 213–222, dez. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.09.015>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado 5 vezes nas páginas 17, 18, 20, 21 e 22.

COCA, F. A. C. P. et al. **Segurança viária**. São Carlos, SP: Suprema Gráfica e Editora, 2012. Disponível em: <http://redpgv.coppe.ufrj.br/images/SEGURANÇA_VIÁRIA_COMPLETO.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 23.

DONNELL, E. T. et al. **Speed Concepts**: Informational guide. Washington, DC, 2009. Disponível em: <https://safety.fhwa.dot.gov/speedmgt/ref_mats/fhwasa10001>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 15.

ELVIK, R.; CHRISTENSEN, P.; AMUNDSEN, A. **Speed and road accidents: an evaluation of the power model**. Oslo: Institute of transport economics (TOI), 2004. ISBN 8248004511. Disponível em: <<http://lib.ugent.be/catalog/rug01:001813795>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

ELVIK, R. et al. **O Manual de Medidas de Segurança Viária**. Madrid: Fundación MAPFRE, 2015. 1088 p. Disponível em: <<https://documentacion.fundacionmapfre.org/documentacion/publico/es/bib/155308.do>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado 3 vezes nas páginas 16, 17 e 23.

European Conference of Ministers of Transport. **Speed Management**. Paris, France: European Conference of Ministers of Transport, 2006. Disponível em: <<https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/06speed.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 19.

GARBER, N. J.; GADIRAJU, R. Factors affecting speed variance and its influence on accidents. **Transportation research record**, v. 1213, p. 64–71, 1989. ISSN 0361-1981. Disponível em: <<https://trid.trb.org/view/306976>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

GLOBAL ROAD SAFETY PARTNERSHIP. **Speed management: a road safety manual for decision-makers and practitioners**. Geneva: Global Road Safety Partnership, 2008. Disponível em: <<https://www.paho.org/en/node/55122>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado 3 vezes nas páginas 13, 15 e 24.

GOLOB, T. F.; RECKER, W. W.; ALVAREZ, V. M. Freeway safety as a function of traffic flow. **Accident Analysis & Prevention**, Elsevier BV, v. 36, n. 6, p. 933–946, nov. 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2003.09.006>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 20.

HUANG, H. et al. A multivariate spatial model of crash frequency by transportation modes for urban intersections. **Analytic Methods in Accident Research**, Elsevier BV, v. 14, p. 10–21, jun. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.amar.2017.01.001>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 21.

IMPRIALOU, M.-I. M. et al. Re-visiting crash–speed relationships: A new perspective in crash modelling. **Accident Analysis & Prevention**, Elsevier BV, v. 86, p. 173–185, jan. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.10.001>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 21.

KLOEDEN, C. N.; MCLEAN, J.; GLONEK, G. F. V. **Reanalysis of Travelling Speed and the Risk of Crash Involvement in Adelaide South Australia**. Adelaide, 2002. Disponível em: <<http://casr.adelaide.edu.au/speed>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 20.

KOCKELMAN, K. K.; MA, J. Freeway speeds and speed variations preceding crashes, within and across lanes. **Journal of the Transportation Research Forum**, Oregon State University, out. 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.5399/osu/jtrf.46.1.976>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 20.

LORD, D.; MANNERING, F. The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives. **Transportation Research Part A:**

Policy and Practice, Elsevier BV, v. 44, n. 5, p. 291–305, jun. 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.02.001>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 21.

MARTENSEN, H.; DUPONT, E. Comparing single vehicle and multivehicle fatal road crashes: A joint analysis of road conditions, time variables and driver characteristics. **Accident Analysis & Prevention**, Elsevier BV, v. 60, p. 466–471, nov. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.03.005>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 21.

MEDINA, A. M. F.; TARKO, A. P. Speed factors on two-lane rural highways in free-flow conditions. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, SAGE Publications, v. 1912, n. 1, p. 39–46, jan. 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/0361198105191200105>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 21.

MICROSOFT. **Visual Studio Code**. 2022. Disponível em: <<https://code.visualstudio.com>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 29.

NILSSON, G. **Traffic Safety Dimensions and the Power Model to Describe the Effect of Speed on Safety**. 121 f. Tese (Doutorado) — Department of Technology and Society, Lund Institute of Technology, Lund, 2004. Disponível em: <<https://lup.lub.lu.se/search/publication/21612>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado 5 vezes nas páginas 9, 18, 19, 20 e 22.

OPENSTREETMAP. **OpenStreetMap**. 2022. Disponível em: <<https://www.openstreetmap.org/>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 28.

PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION. **Report on Road Safety in the Region of the Americas**. Washington, DC, 2015. Disponível em: <<https://iris.paho.org/handle/10665.2/28560>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 13.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**: Open source geospatial foundation project. 2022. Disponível em: <<https://www.qgis.org>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 29.

QUDDUS, M. Exploring the relationship between average speed, speed variation, and accident rates using spatial statistical models and GIS. **Journal of Transportation Safety & Security**, Informa UK Limited, v. 5, n. 1, p. 27–45, mar. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/19439962.2012.705232>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 20.

SÃO PAULO (MUNICÍPIO). **GeoSampa**. 2022. Disponível em: <<http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado 3 vezes nas páginas 25, 26 e 27.

SCHNURR, D. **movement-data-toolkit**: Tools and utilities for working with uber movement data. 2020. Package version 1.3.0. Disponível em: <<https://www.npmjs.com/package/movement-data-toolkit/v/1.3.0>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 29.

SOLOMON, D. **Accidents on Main Rural Highways Related to Speed, Driver, and Vehicle**. Washington, 1964. Disponível em: <https://safety.fhwa.dot.gov/speedmgt/ref_mats/fhwasa1304/2_40.htm>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado 3 vezes nas páginas 18, 19 e 20.

TAYLOR, M. C.; LYNAM, D. C.; BARUYA, A. **The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents**. [S.l.], 2000. Disponível em: <<https://trl.co.uk/publications/trl421>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 20.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Managing Speed**: Review of current practices for setting and enforcing speed limits - special report 254. Washington, DC: The National Academies Press, 1998. Disponível em: <<https://trid.trb.org/view/542306>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado 3 vezes nas páginas 13, 16 e 18.

UBER TECHNOLOGIES, INC. **Dados obtidos através da Uber Movement**. 2022. Disponível em: <<https://movement.uber.com>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado 5 vezes nas páginas 24, 25, 28, 29 e 30.

VIS.GL. **Kepler.gl**. 2022. Disponível em: <<https://kepler.gl>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 30.

WANG, L. et al. Real-time crash prediction for expressway weaving segments. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, Elsevier BV, v. 61, p. 1–10, dez. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.10.008>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 18.

WANG, X.; YU, R.; ZHONG, C. A field investigation of red-light-running in shanghai, china. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, Elsevier BV, v. 37, p. 144–153, fev. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.12.010>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 18.

WANG, X. et al. Speed, speed variation and crash relationships for urban arterials. **Accident Analysis & Prevention**, Elsevier BV, v. 113, p. 236–243, abr. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.01.032>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado 4 vezes nas páginas 19, 20, 21 e 22.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2021-2030**. [S.l.], 2021. 36 p. Disponível em: <<https://www.who.int/publications/m/item/global-plan-for-the-decade-of-action-for-road-safety-2021-2030>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 13.

XU, C.; LIU, P.; WANG, W. Evaluation of the predictability of real-time crash risk models. **Accident Analysis & Prevention**, Elsevier BV, v. 94, p. 207–215, set. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.06.004>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 20.

YU, R.; ABDEL-ATY, M. Using hierarchical bayesian binary probit models to analyze crash injury severity on high speed facilities with real-time traffic data. **Accident Analysis & Prevention**, Elsevier BV, v. 62, p. 161–167, jan. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.08.009>>. Acesso em: 12 jan. 2022. Citado na página 18.

Apêndices

APÊNDICE A – Algoritmo speeds_transformation.py

```
# -*- coding: utf-8 -*-

#Seção de comandos para interoperabilidade com Google Colab
""" !pip install geopandas
!pip install shapely
!pip install unidecode

from google.colab import drive
drive.mount('/gdrive', force_remount=True) """

#Importação de Bibliotecas
import pandas as pd
import numpy as np

#Carregamento do arquivo sao_paulo-speeds_q.csv (Uber Movement
↳ Speeds) obtido através do movement-data-toolkit
df_speeds =
↳ pd.read_csv('/gdrive/MyDrive/TCC/sao_paulo-speeds_q.csv',
↳ encoding='utf-16')

""" Ordena os pares de 'osm_start_node_id' e
↳ 'osm_end_node_id', alternando-os
Por este comando, um 'osm_way_id' com 'osm_start_node_id'='A'
↳ 'osm_end_node_id'='B' é entendido da mesma forma que o
↳ mesmo 'osm_way_id', mas com 'osm_start_node_id'='B'
↳ 'osm_end_node_id'='A'
Como sao_paulo-speeds_no-twin.geojson foi obtido com a opção
↳ --no-twin, este ajuste é necessário, caso contrário apenas
↳ as velocidades de um sentido serão consideradas """
df_speeds[['osm_start_node_id', 'osm_end_node_id']] =
↳ np.sort(df_speeds[['osm_start_node_id',
↳ 'osm_end_node_id']], axis=1)
```

```
#Agrupar por 'osm_way_id', 'osm_start_node_id',  
↳ 'osm_end_node_id' e faz a média da 'speed_kph_p85'  
df_speeds_g = df_speeds.groupby(by=['osm_way_id',  
↳ 'osm_start_node_id',  
↳ 'osm_end_node_id'])['speed_kph_p85'].mean()  
  
#Reinicia o index  
df_speeds_g = df_speeds_g.reset_index()  
  
#Salva  
df_speeds_g.to_csv('/gdrive/MyDrive/TCC/prods/sao_paulo-speeds_'  
↳ '_p85_mean.csv',  
↳ index=False)
```

APÊNDICE B – Algoritmo geojson_transform_shp.py

```
#geojson_transform_shp.py
# -*- coding: utf-8 -*-

#Seção de comandos para interoperabilidade com Google Colab
""" !pip install geopandas
!pip install geopandas
!pip install shapely
!pip install unicode

from google.colab import drive
drive.mount('/gdrive', force_remount=True) """

#Importa bibliotecas
import geopandas as gpd
import pandas as pd
import json
from shapely.geometry import LineString
from unicode import unicode
import numpy as np

#Abre o sao_paulo-speeds_no-twin.geojson como JSON
with open('/gdrive/MyDrive/TCC/sao_paulo-speeds_no-twin.geojso
↪ n', encoding='utf-16') as
↪ project_file:
    data = json.load(project_file)

#Normaliza o sao_paulo-speeds_no-twin.geojson, transformando-o
↪ em um dataframe
df_speeds = pd.json_normalize(data['features'])
df_speeds.columns = ['type', 'geometry_coordinates',
↪ 'geometry_type', 'osmname', 'osminodeid', 'osmhighway',
↪ 'osmfnodeid', 'osmwayid', 'speed_mean', 'pct', 'speed_v85']
```

```

#Reconstrói tuplas para as coordenadas
df_speeds['geometry_coordinates'] =
    ↪ df_speeds['geometry_coordinates'].apply(lambda a:
    ↪ [tuple(x) for x in a])

#Reconstrói geometrias do tipo LineString
df_speeds['geometry'] =
    ↪ df_speeds['geometry_coordinates'].apply(LineString)

#Converte e retira caracteres especiais do nome das vias
#Apesar do único encoding válido identificado ter sido o
    ↪ 'utf-16', os nomes das vias usualmente carregam algum tipo
    ↪ de caractere com erro
df_speeds['osmname'] = df_speeds['osmname'].astype(str)
df_speeds['osmname'] = df_speeds['osmname'].apply(unidecode)

#Carrega o dataframe df_speeds_p85 do arquivo
    ↪ sao_paulo-speeds_p85_mean.csv, obtido através do algoritmo
    ↪ speeds_transformation.py
df_speeds_p85 = pd.read_csv('/gdrive/MyDrive/TCC/prods/sao_pau_
    ↪ lo-speeds_p85_mean.csv', names=['osmwayid', 'osminodeid',
    ↪ 'osmfnodeid', 'speed_v85'], header=0)

#Exclui a coluna 'speed_v85' do dataframe df_speeds,
    ↪ originário do sao_paulo-speeds_no-twin.geojson
df_speeds = df_speeds.drop(columns=['speed_v85'])

""" Ordena os pares de 'osm_start_node_id' e
    ↪ 'osm_end_node_id', alternando-os
Por este comando, um 'osm_way_id' com 'osm_start_node_id'='A'
    ↪ 'osm_end_node_id'='B' é entendido da mesma forma que o
    ↪ mesmo 'osm_way_id', mas com 'osm_start_node_id'='B'
    ↪ 'osm_end_node_id'='A'
Como sao_paulo-speeds_no-twin.geojson foi obtido com a opção
    ↪ --no-twin, este ajuste é necessário, caso contrário apenas
    ↪ as velocidades de um sentido serão consideradas """
df_speeds[['osminodeid', 'osmfnodeid']] =
    ↪ np.sort(df_speeds[['osminodeid', 'osmfnodeid']], axis=1)

```

```
#Realiza o merge do dataframe df_speeds com o df_speeds_p85,
↳ inserindo a coluna 'speed_v85'
df_speeds = df_speeds.merge(df_speeds_p85, how='left',
↳ on=['osmwayid', 'osminodeid', 'osmfnodeid'])

#Cria o GeoDataFrame gdf_speeds com base nas informações do
↳ dataframe df_speeds, observada a geometria reconstroída na
↳ coluna 'geometry'
gdf_speeds = gpd.GeoDataFrame(data=df_speeds[['osmname', 'osmhi',
↳ ghway', 'osmwayid', 'osminodeid', 'osmfnodeid', 'speed_v85']],
↳ geometry=df_speeds['geometry'], crs="EPSG:4326")

#Converte para o EPSG:31983 - SIRGAS 2000 / UTM zone 23S
gdf_speeds = gdf_speeds.to_crs(crs="EPSG:31983")

#Cria a coluna length, incluindo a extensão de cada trecho
↳ viário
gdf_speeds['length'] = gdf_speeds.length

#Salva o arquivo
gdf_speeds.to_file('/gdrive/MyDrive/TCC/prods/sao_paulo-speeds',
↳ _no-twin_SIRGAS2000.shp')
```