



**USO DE DADOS DE CONFLITO DE TRÂNSITO PARA ANÁLISE DE
SEGURANÇA VIÁRIA**

JÚLIA ALVES PORTO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**USO DE DADOS DE CONFLITO DE TRÂNSITO
PARA ANÁLISE DE SEGURANÇA VIÁRIA**

JÚLIA ALVES PORTO

ORIENTADOR: MICHELLE ANDRADE

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

**PUBLICAÇÃO: 006/2023
BRASÍLIA/DF: JULHO/2023**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**USO DE DADOS DE CONFLITO PARA ANÁLISE DE
SEGURANÇA VIÁRIA**

JÚLIA ALVES PORTO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TRANSPORTES DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE/DOCTOR EM TRANSPORTES.

APROVADA POR:

**MICHELLE ANDRADE, Dra. (PPGT/UnB)
(ORIENTADORA)**

**PASTOR WILLY GONZALES TACO, Dr. (PPGT/UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**FLÁVIO JOSÉ CRAVEIRO CUNTO, PhD (PETRAN/UFC)
(EXAMINADORA EXTERNO)**

BRASÍLIA/DF, 27 de Julho de 2023.

FICHA CATALOGRÁFICA

PORTO, JÚLIA ALVES

Uso de dados de conflito para análise de segurança viária. Brasília, 2023

xii, 77 páginas p., 210x297mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2023).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1 – Análise de conflito

2 – Visão computacional

3 – Segurança Viária

I – ENC/FT/UnB

II – Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PORTO, J. A. (2023). Uso de dados de conflito para análise de segurança viária. Publicação 006/2023. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 74 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: JÚLIA ALVES PORTO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Uso de dados de conflito para análise de segurança viária.

GRAU: Mestre

ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Júlia Alves Porto

julporto@gmail.com

DEDICATÓRIA

Aos futuros.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha mãe, que é a minha maior inspiração e referência, ao meu irmão, que é o irmão mais novo mais caçula que eu poderia desejar, e ao meu pai, que virou um grande amigo. Agradeço à minha avó por cada aniversário que ela passou em Brasília comigo, aos meus tios e tias que mergulharam nos estudos e no magistério, e aos meus primos Lucas e Carol que desde sempre foram grandes companheiros de férias.

Agradeço à CAPES pelo apoio financeiro e à UnB por fazer parte de quem eu sou por tantos anos. Agradeço à ANPET e ao PANAM por aceitarem meus artigos para apresentação.

Agradeço à minha orientadora Michelle, que sempre trouxe boas reflexões e questionamentos, à professora Fabiana, que falou “Ué, por que você não manda seu artigo pra ANPET?”, a todo o corpo docente que contribuiu para a minha formação como engenheira, mestre e como um ser humano mais atento aos detalhes, e principalmente aos dois que toparam compor minha banca, professores Pastor e Flávio.

Agradeço à minha antiga chefe, Cintia, que me conheceu como aspirante ao mestrado e foi quem me avisou quando fui aprovada no programa; e à minha psicóloga, Ana Paula, que me ajuda toda semana a estabelecer o que é prioridade para mim. O apoio de vocês quando decidi me dedicar integralmente ao Mestrado fez muita diferença.

Agradeço aos meus colegas que passaram por dois anos de mestrado à distância comigo – Bruno, Kevin, Glauber, Natália, Rafas, Luciano, Marcel. Foi difícil, mas conseguimos!

E agradeço muito às minhas amigas e meus amigos que me viram chorar, cansar, lutar, descansar, desistir, revoltar e me apaixonar pelo processo de pesquisa e escrita. Para três de vocês até a minha dissertação eu enviei: Naty, Ju e Thiago, vocês me deixaram mais tranquila de que minha dissertação é uma dissertação. Obrigada.

RESUMO

Tradicionalmente, o estudo de segurança viária é feito a partir de dados de sinistros de trânsito. Apesar desses dados serem a principal referência para diferentes métodos de análise de segurança viária, eles possuem aspectos negativos relevantes, como: o tempo necessário para obter a quantidade de dados suficiente para realizar as análises estatísticas necessárias; a falta de confiabilidade nos métodos de coleta de dados; a subnotificação de sinistros de trânsito; e a dificuldade de acesso aos dados completos. Esses são alguns dos motivos que justificam o emprego de métodos alternativos de avaliação de segurança, dentre os quais se destaca o uso de dados de conflito. O conflito de trânsito é uma interação de trânsito que poderia ter incorrido em sinistro, mas não o foi devido à tomada de ação evasiva por uma das partes envolvidas. A severidade do conflito pode ser mensurada por indicadores comportamentais, ou de proximidade espacial ou temporal entre os envolvidos. Para auxiliar a identificação de conflitos sem o enviesamento do olhar do pesquisador, vêm sendo empregadas técnicas de visão computacional. Essas técnicas são usadas para rastrear os veículos, medir a velocidade e a projeção de suas trajetórias automaticamente. Com esses dados é possível identificar e classificar a severidade dos conflitos de trânsito. Nessa dissertação é feita uma revisão de métodos de análise e técnicas de aplicação para análise de conflitos utilizadas nos últimos 12 anos. Também foi feito um estudo de caso em interseções do Distrito Federal usando indicadores comportamentais para identificação de conflitos, e indicadores de proximidade temporal calculados pelo *software Traffic Intelligence*, desenvolvido por pesquisadores da *University of British Columbia* e da *Polytechnique Montréal*. O presente trabalho contribui para trabalhos futuros envolvendo dados de conflito indicando quais dificuldades encontradas nos métodos estudados, como a subjetividade da análise manual, as limitações observadas pelo ângulo de filmagem utilizado e a necessidade de melhor calibração para diminuição dos erros de rastreamento; e também alguns resultados positivos, como o alto índice de acerto do código de visão computacional quando a imagem aérea capturada por drone foi analisada. Além disso, abre-se um precedente para se investigar se indicadores por proximidade são adequados para o perfil de trânsito brasileiro, principalmente devido ao hábito de motociclistas trafegarem nos corredores entre as faixas de rolamento.

Palavras-chave: análise de conflitos, visão computacional, segurança viária.

ABSTRACT

Traditionally, road safety studies are based on traffic accident data. Although these data are the main reference for different road safety analysis methods, they have relevant negative aspects, such as: the time required to obtain the amount of data sufficient to carry out the necessary statistical analyses; unreliability in data collection methods; underreporting of traffic accidents; and the difficulty of accessing complete data. These are some of the reasons that justify the use of alternative security assessment methods, among which the use of conflict data stands out. A traffic conflict is a traffic interaction that could have resulted in an accident, but did not, due to evasive action taken by one of the parties involved. The severity of the conflict can be measured by behavioral indicators or spatial or temporal proximity between those involved. To help identify conflicts without biasing the researcher's gaze, computer vision techniques have been used to track vehicles and automatically measure speed and trajectory projection to allow the identification and measurement of the severity of conflicts. This dissertation reviews methods of analysis and application techniques for conflict analysis used in the last 12 years. In addition, a case study was carried out in intersections in the Federal District using behavioral indicators to identify conflicts and temporal proximity indicators calculated by the Traffic Intelligence software, developed in partnership by researchers from the University of British Columbia and Polytechnique Montréal. The present work contributes to future work involving conflict data, indicating the difficulties encountered in the methods studied, such as the subjectivity of manual analysis, the limitations observed by the shooting angle used and the need for better calibration to reduce tracking errors; and also some positive results, such as the high accuracy rate of the computer vision code when the aerial image captured by the drone was analyzed. In addition, a precedent is set for investigating whether proximity indicators are adequate for the Brazilian traffic profile, mainly due to the habit of motorcyclists traveling in the corridors between lanes.

Keywords: conflict analysis, computer vision, road safety.

ÍNDICE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | CONTEXTUALIZAÇÃO | 1 |
| 1.2 | OBJETIVOS | 5 |
| 1.3 | JUSTIFICATIVA | 5 |
| 1.4 | ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO..... | 6 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 7 |
| 2.1 | INTRODUÇÃO | 7 |
| 2.2 | TEORIA E CONCEITUAÇÃO..... | 8 |
| 2.3 | COLETA DE DADOS..... | 12 |
| 2.4 | APLICAÇÕES..... | 13 |
| 2.4.1 | Estudos tipo antes-e-depois | 14 |
| 2.4.2 | <i>Cross-comparison</i> | 14 |
| 2.4.3 | Modelos de monitoramento de segurança | 15 |
| 2.4.4 | Estimativa da ocorrência de sinistros | 15 |
| 3 | REVISÃO DA LITERATURA: ESTUDOS DE CASO COM DADOS DE CONFLITO..... | 16 |
| 3.1 | INTRODUÇÃO | 16 |
| 3.2 | MÉTODO | 16 |
| 3.3 | AGREGAÇÃO QUANTO AO MÉTODO ESTATÍSTICO | 18 |
| 3.3.1 | Estatística descritiva | 19 |
| 3.3.2 | Teste de hipóteses..... | 21 |
| 3.3.3 | Modelagem com variáveis preditoras..... | 23 |
| 3.3.4 | Métodos estatísticos de extrapolação | 26 |
| 3.4 | AGREGAÇÃO POR OBJETIVO DO TRABALHO..... | 28 |
| 3.4.1 | Validação de metodologias propostas | 29 |
| 3.4.2 | Comparação de indicadores..... | 30 |
| 3.4.3 | Modelagem de segurança viária | 30 |
| 3.4.4 | Estudos de caso..... | 32 |
| 3.5 | DISCUSSÃO | 33 |
| 4 | ESTUDO DE CASO | 35 |
| 4.1 | OBJETIVO | 35 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.2 | MÉTODO | 35 |
| 4.2.1 | Caracterização da geometria e do fluxo de veículos | 36 |
| 4.2.2 | Identificação manual de potenciais conflitos..... | 36 |
| 4.2.3 | Rastreamento de veículos com ferramenta automatizada | 38 |
| 4.2.4 | Identificação automatizada de conflitos | 40 |
| 4.3 | LOCAL 01: EPNB001 | 43 |
| 4.3.1 | Caracterização da geometria e do fluxo de veículos | 43 |
| 4.3.2 | Identificação manual de potenciais conflitos..... | 45 |
| 4.3.3 | Rastreamento de veículos com ferramenta automatizada | 46 |
| 4.4 | LOCAL 02: EPNB075 | 49 |
| 4.4.1 | Caracterização da geometria e do fluxo de veículos | 49 |
| 4.4.2 | Identificação manual de potenciais conflitos..... | 52 |
| 4.4.3 | Rastreamento de veículos com ferramenta automatizada | 53 |
| 4.4.4 | Identificação automatizada de conflitos | 54 |
| 4.5 | LOCAL 03: EPTG | 56 |
| 4.5.1 | Caracterização da geometria e do fluxo de veículos | 56 |
| 4.5.2 | Identificação manual de potenciais conflitos..... | 58 |
| 4.5.3 | Rastreamento de veículos com ferramenta automatizada | 59 |
| 4.5.4 | Identificação automatizada de conflitos | 60 |
| 4.6 | FILMAGEM COM DRONE | 61 |
| 4.6.1 | Caracterização da geometria, do fluxo de veículos e das imagens capturadas 61 | |
| 4.6.2 | Identificação manual de potenciais conflitos..... | 61 |
| 4.6.3 | Rastreamento de veículos com ferramenta automatizada | 63 |
| 4.6.4 | Identificação automatizada de conflitos | 64 |
| 4.7 | DISCUSSÃO | 64 |
| 5 | CONCLUSÕES | 67 |
| 5.1 | DISCUSSÃO E LIMITAÇÕES DO TRABALHO | 67 |
| 5.2 | RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS | 68 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 69 |
| | APÊNDICE A – MAPA DA LOCALIZAÇÃO DAS CÂMERAS | 78 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|--------------------|--|----|
| Tabela 3.1 | Tamanho da base de dados por tipo de abordagem estatística usada | 18 |
| Tabela 3.2 | Principais fatores de coleta de dados para estudos com estatística descritiva | 19 |
| Tabela 3.3 | Principais fatores de coleta de dados para trabalhos com teste de hipóteses | 22 |
| Tabela 3.4 | Principais fatores para trabalhos usando variáveis preditoras | 24 |
| Tabela 3.5 | Dados de coleta para trabalhos tipo EVT | 28 |
| Tabela 3.6 | Intervalo de coleta de dados dos trabalhos agregados por objetivo..... | 28 |
| Tabela 3.7 | Intervalo de coleta de dados para trabalhos de validação metodológica | 29 |
| Tabela 3.8 | Intervalo de coleta de dados para trabalhos de comparação de indicadores | 30 |
| Tabela 3.9 | Intervalo de coleta de dados para trabalhos de modelagem..... | 31 |
| Tabela 3.10 | Intervalo de coleta de dados para trabalhos de estudo de caso | 33 |
| Tabela 4.1 | Locais de realização do estudo de caso | 35 |
| Tabela 4.2 | Lista de indicadores | 42 |
| Tabela 4.3 | Exemplo de retorno da tabela " <i>interactions</i> " | 42 |
| Tabela 4.4 | Exemplo de retorno para tabela " <i>indicators</i> " | 42 |
| Tabela 4.5 | Composição percentual do tráfego no Local 01 por tipo de veículo | 45 |
| Tabela 4.6 | Composição percentual do tráfego no Local 01 por acesso e saída..... | 45 |
| Tabela 4.7 | Taxa de acerto do rastreamento automatizado de objetos para o Local 01 . | 48 |
| Tabela 4.8 | Composição percentual do tráfego no Local 02 por tipo de veículo | 51 |
| Tabela 4.9 | Composição percentual do tráfego no Local 02 por acesso | 51 |
| Tabela 4.10 | Taxa de acerto na identificação de veículos por visão computacional para o Local 02 | 54 |
| Tabela 4.11 | Quantidade de conflitos encontrada por limiar e número de <i>frames</i> consecutivos | 55 |
| Tabela 4.12 | Composição percentual do tráfego no Local 03 por tipo de veículo | 58 |
| Tabela 4.13 | Composição percentual do tráfego no Local 03 por acesso | 58 |
| Tabela 4.14 | Taxa de acerto na identificação de veículos por visão computacional para o Local 03 | 59 |
| Tabela 4.15 | Potenciais conflitos identificados manualmente pela gravação via drone do Local 03 | 62 |
| Tabela 4.16 | Resultado do rastreamento para o <i>take</i> 1 via drone | 63 |
| Tabela 4.17 | Resultado do rastreamento para o <i>take</i> 2 via drone | 64 |
| Tabela 4.18 | Resultado do rastreamento para o <i>take</i> 3 via drone | 64 |
| Tabela 4.19 | Resultado do rastreamento para o <i>take</i> 4 via drone | 64 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 Pirâmide de Hydén..... | 2 |
| Figura 1.2 Linha temporal dos indicadores de conflito | 4 |
| Figura 2.1 Estruturação da revisão da literatura | 7 |
| Figura 2.2 Quantidade de publicações por ano para as bases indexadas..... | 11 |
| Figura 3.1 Restrições de busca para revisão integrativa da literatura | 17 |
| Figura 4.1 Passo a passo da metodologia para estudo de caso | 36 |
| Figura 4.2: Estimativa de severidade de conflito pela técnica sueca | 37 |
| Figura 4.3 Passo a passo para identificação automatizada de conflitos | 38 |
| Figura 4.4 Exemplo de imagem para calibração do cenário | 39 |
| Figura 4.5 Representação aérea do Local 01 (EPNB001)..... | 43 |
| Figura 4.6 Imagem do Local 01 capturada pela câmera de monitoramento de trânsito do DER | 43 |
| Figura 4.7 Contagem do fluxo de veículos para o Local 01..... | 44 |
| Figura 4.8 Conflitos identificados manualmente..... | 46 |
| Figura 4.9 Imagens usadas para calibração e rastreamento..... | 47 |
| Figura 4.10 Segmento de imagem do rastreamento | 48 |
| Figura 4.11 <i>Frame</i> da filmagem do Local 01 onde é possível ver um veículo entrando na via principal pelo entroncamento à esquerda | 49 |
| Figura 4.12 Imagem do Local 02 capturada pela câmera de monitoramento de trânsito do DER | 50 |
| Figura 4.13 Representação aérea do Local 02 (EPNB075)..... | 50 |
| Figura 4.14 Contagem do fluxo de veículos para o Local 02..... | 51 |
| Figura 4.15 Distribuição espacial dos potenciais conflitos identificados no Local 02 . | 52 |
| Figura 4.16 Imagens do Local 02 utilizadas durante a etapa de rastreamento automatizado de objetos..... | 53 |
| Figura 4.17 Conflitos totais identificados para o Local 02 | 56 |
| Figura 4.18 Imagem do Local 03 capturada pela câmera de monitoramento de trânsito do DER | 56 |
| Figura 4.19 Imagem aérea do Local 03, onde o marcador A localiza-se no Águas Claras shopping; e o B no Centro Universitário Unieuro | 57 |
| Figura 4.20 Contagem do fluxo de veículos para o Local 02..... | 58 |
| Figura 4.21 Possíveis conflitos identificados manualmente | 59 |
| Figura 4.22 Imagens do Local 03 utilizadas durante a etapa de rastreamento automatizado de objetos..... | 60 |
| Figura 4.23 <i>Frames</i> dos quatro ângulos utilizados para filmagem com drone do Local 03 | 61 |
| Figura 4.24 Potenciais conflitos identificados manualmente pela gravação via drone do Local 03 | 62 |
| Figura 4.25 Máscaras usadas para delimitação da área de rastreamento das imagens capturadas via drone | 63 |

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

| | |
|---------|---|
| DataSUS | Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde |
| DER | Departamento de Estradas e Rodagem do Distrito Federal |
| DETRAN | Departamento de Trânsito do Distrito Federal |
| DPVAT | Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre |
| DRAC | <i>Deceleration Rate to Avoid Crash</i> |
| EPCT | Estrada Parque do Contorno |
| EPNB | Estrada Parque Núcleo Bandeirante |
| EPTG | Estrada Parque Taguatinga |
| e-SIC | Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão |
| EVT | <i>Extreme Value Theory</i> |
| GDF | Governo do Distrito Federal |
| IPEA | Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada |
| LCSS | <i>Longest Common Sub-Sequence</i> |
| LSTM | <i>Long Short-Term Memory</i> |
| PE | <i>Permutation Entropy</i> |
| PET | <i>Post Encroachment Time</i> |
| PRF | Polícia Rodoviária Federal |
| RENAEST | Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre |
| SEDUH | Secretaria de Desenvolvimento Urbano do Distrito Federal |
| SORT | <i>Simple Online and Realtime Tracking</i> |
| SPF | <i>Safety Performance Function</i> |
| TA | <i>Time to Accident</i> |
| TTC | <i>Time To Collision</i> |
| WHO | <i>World Health Organization</i> |

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Mundialmente, ocorrem mais de um milhão de fatalidades por ano decorrentes de sinistros de trânsito. Além disso, os sinistros de trânsito são a principal causa de morte para crianças e jovens entre 5 e 29 anos (WHO, 2018). Para os países em desenvolvimento, os problemas decorrentes de insegurança viária são ainda mais graves, uma vez que (MAHMUD *et al.*, 2018):

- Cerca de 90% das fatalidades no trânsito ocorrem em países de baixa e média renda *per capita*, apesar de estes países corresponderem a 82% da população mundial e apenas 54% da frota veicular;
- A proporção de subnotificação em países desenvolvidos é em torno de 2 a 5%, enquanto naqueles em desenvolvimento é de 25 a 50%.

Além das perdas sociais e pessoais, como as fatalidades e lesões decorrentes de sinistros, os acidentes de trânsito implicam custos financeiros para toda a sociedade. Um estudo realizado pelo IPEA (2020) usando dados da Polícia Rodoviária Federal (PRF) indica que, no ano de 2014, somente em rodovias federais, os acidentes de trânsito acarretaram um custo de mais de R\$ 12,8 bilhões de reais. Neste valor estão computados apenas os custos hospitalares, materiais e de perda de produção associados às vítimas dos sinistros.

Usualmente, a avaliação e o monitoramento da segurança viária de uma determinada região é baseada em dados de sinistros de trânsito. Estes são indicativos diretos do nível de segurança de um local (ELVIK *et al.*, 2015). No entanto, o uso de dados de sinistros como único indicador de insegurança apresenta desvantagens, entre as quais se destacam:

- é um método reativo, ou seja, é preciso que o sinistro ocorra antes que se tome iniciativas para preveni-lo;
- como o sinistro é um evento raro e aleatório em face das demais interações de trânsito, é necessário que se acumule dados por um período extenso, muitas vezes na ordem de anos, impedindo soluções e avaliações rápidas;
- não se tem total confiabilidade nos dados coletados de sinistros (ESSA & SAYED, 2019; REYAD *et al.*, 2017; STIPANCIC *et al.*, 2016), e muitos sinistros resultantes apenas em danos materiais sequer são registrados.

Para que seja possível uma análise proativa da segurança viária de determinada região, alguns indicadores alternativos aos sinistros vêm sendo propostos na literatura, tais como a associação da velocidade do tráfego com ocorrência e severidade de sinistros, o comportamento durante mudança de faixa, dentre outros. Entre essas alternativas, se destaca o estudo de conflitos de trânsito (GUO *et al.*, 2016; REYAD *et al.*, 2017; STIPANCIC *et al.*, 2016; TARKO, 2018; XIE *et al.*, 2016; ZHENG & SAYED, 2020).

O conflito de trânsito foi inicialmente definido como qualquer situação com potencial de resultar em colisão, quando proposto por pesquisadores da *General Motors* como uma alternativa ao uso de dados de sinistros, na segunda metade do século XX (PERKINS & HARRIS, 1968). A definição mais propagada na literatura, no entanto, foi proposta por Amundsen & Hydén (1977): "uma situação observável em que dois ou mais usuários da via se aproximam no tempo e espaço de tal maneira que existe um risco de colisão caso seus movimentos permaneçam inalterados" (tradução livre).

A análise de conflitos pode ser justificada teoricamente pelo *continuum* de trânsito (Figura 1.1) conforme proposto por Hydén (1987). De acordo com o pesquisador, existe uma escala inversamente proporcional de frequência e insegurança de interações de trânsito, sendo o tipo mais comum de interação as passagens imperturbadas, e o menos comum, a ocorrência de sinistros. Os conflitos antecedem os sinistros em termos de severidade e, portanto, são muito mais frequentes.

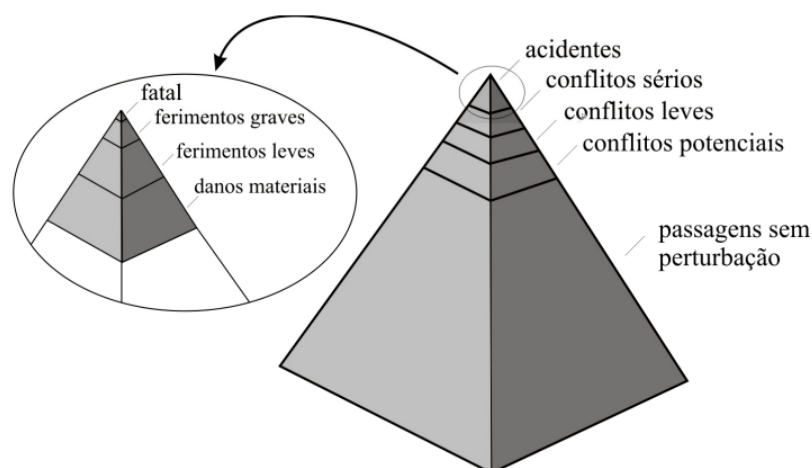


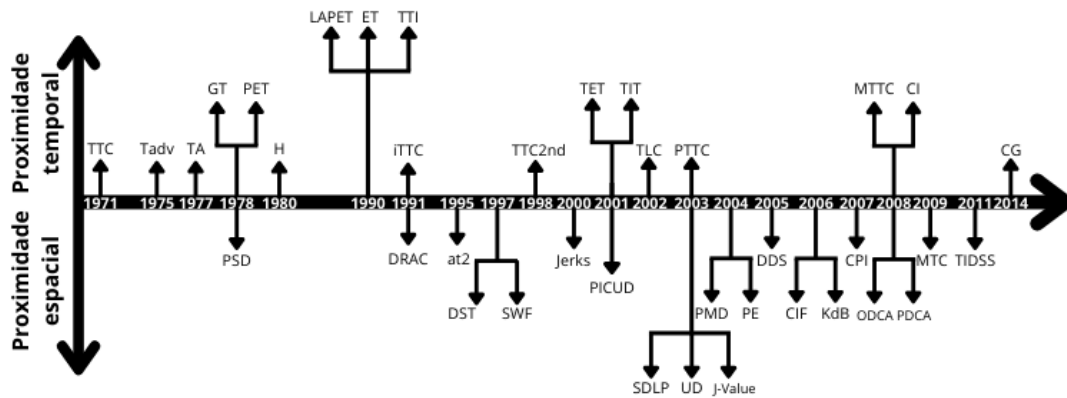
Figura 1.1 Pirâmide de Hydén
Fonte: CUNTO & LOUREIRO (2011)

Observar conflitos ao invés de sinistros apresenta duas grandes vantagens: locais perigosos podem ser identificados antes da ocorrência de sinistros; e estudos de caso,

especialmente do tipo “antes-e-depois”, podem ser feitos em um intervalo muito mais curto de tempo (REYAD *et al.*, 2017; XIE *et al.*, 2016), na ordem de meses.

A identificação de conflito, no entanto, não é tão simples quanto a de sinistros. Sinistros são identificados facilmente pela ocorrência de choque ou colisão entre dois ou mais usuários da via, ou entre um usuário da via e um objeto. O conflito é uma situação que poderia ter resultado em sinistro, mas o sinistro foi evitado devido à ação dos usuários envolvidos no conflito. Portanto, para identificá-los, são necessários indicadores. Esses indicadores podem ser baseados na identificação de ações evasivas, tais como frenagem brusca ou desvio repentino de direção, ou na proximidade física ou temporal entre os usuários. Um exemplo de indicador baseado em proximidade é o *Time To Collision* (TTC), que é o indicador de conflito mais antigo que se tem registro na literatura. O TTC é o tempo, em segundos, em que ocorrerá uma colisão caso dois usuários de trânsito em conflito mantenham sua trajetória e velocidade inalteradas. No caso de veículos que se mantenham em rota de colisão por vários instantes no tempo em sequência, o TTC é considerado o valor mais crítico (HAYWARD, 1972). Já o *Time to Accident* (TA) é uma variação do TTC usada na Suécia como indicador de conflito (LAURESHYN & VARHELYI, 2018). Ao invés de calcular o valor mais crítico do tempo para colisão, o TA considera esse valor no momento em que uma ação evasiva é tomada. Um resumo dos indicadores já desenvolvidos foi feito por Sohel Mahmud *et al.* (2018), pode ser observado pela Figura 1.2.

Outra dificuldade para o uso de dados de conflitos é o custo, tanto financeiro quanto em recursos humanos, do treinamento de uma equipe para fazer a extração e classificação manual de conflitos (SAUNIER & SAYED, 2007). No entanto, com os avanços computacionais, o desenvolvimento de técnicas automatizadas de análise de conflito, em especial o uso de visão computacional, contribuiu para a popularização das técnicas de análise de conflito, permitindo que estas passassem de uma fase experimental para a fase de aplicação em casos reais (ZHENG *et al.*, 2014).



Legenda:

Proximidade temporal

- TTC - Time To Collision
- T_{adv} - Time Advantage
- TA - Time to Accident
- GT - Gap Time
- PET - Post Encroachment Time
- H - Headway
- IAPET - Initially Attempted Post Encroachment Time
- ET - Encroachment Time
- TTI - Time To Intersection
- iTTC - Inverse of Time to Collision
- TTC 2nd - The Second Order Predicted TTC
- TET - Time Exposed Time to Collision
- TIT - Time Integrated Time to Collision
- TLC - Time to Line Crossing
- PTTC - Predicted Time To Collision
- MTTC - Modified Time to Collision
- CI - Crash Index
- CG - Critical Gap

Proximidade espacial

- PSD - Proportion of Stopping Distance
- DRAC - Deceleration Rate to Avoid Crash
- at2 - Dispersion of acceleration
- DST - Deceleration of Safety Time
- SWF - Shock-Wave Frequency
- Jerks - Composite g-force and speed
- PICUD - Potential index for Collision with Urgent Deceleration
- SDLP - Standard Deviation of Lateral Position
- UD - Unsafe Distance
- J-Value - Função acumulada de indicadores de segurança
- PMD - Predicted Minimum Distance
- PE - Potential Energy
- DSS - Difference of Space Distance and Stopping Distance
- CIF - Criticality Index Function
- KdB - Judgement Line of Brake Initiation
- CPI - Crash Potential Index
- ODCA - Overt Deceleration for Collision Avoiding
- PDCA - Potential Deceleration for Collision Avoiding
- MTC - Margin to Collision
- TIDSS - Time Integrated DSS

Figura 1.2 Linha temporal dos indicadores de conflito

Fonte: Adaptado de MAHMUD *et al.* (2018)

No entanto, há aspectos relacionados às técnicas de análise de conflito que não estão claramente definidos e que são relevantes para o adequado planejamento de emprego da técnica. Quantas horas de vídeo ou qual número de conflitos são necessários para se obter uma análise estatisticamente confiável? É possível estabelecer um valor limítrofe para diferenciar a ocorrência ou não de conflitos e sua severidade? Apesar desses parâmetros serem dependentes das condições particulares do cenário e dos objetivos de cada estudo, a identificação de padrões médios é relevante para fins de planejamento das pesquisas e de análises comparativas.

O presente trabalho discute mecanismos de captura de dados e de identificação conflitos a partir de uma revisão teórica e também por meio de aplicação em estudo de caso. Primeiro, foi feita uma revisão das metodologias aplicadas em diversos estudos de caso, de modo a entender as escolhas de indicadores, tamanho da base de dados, limiares e se os resultados encontrados foram considerados estatisticamente confiáveis. Em seguida,

foi realizado um estudo de caso no Distrito Federal comparando técnicas de identificação de conflito manual e automática, sendo esta última feita a partir de um *software* de rastreamento de veículos baseado em inteligência artificial desenvolvido por pesquisadores da *University of British Columbia* e *Polytechnique Montreal*, cujo código é disponibilizado publicamente. Ao final, esse trabalho leva a uma melhor compreensão de como utilizar técnicas e ferramentas de análise de conflito para monitoramento de segurança viária.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho é analisar comparativamente duas técnicas de identificação de conflito utilizando dados gerados espontaneamente pela rede de monitoramento de trânsito do Distrito Federal. Para alcançar o objetivo geral do trabalho, foram traçados alguns objetivos específicos, os quais são:

- Identificar, na literatura, quais critérios usados para definir a base de dados necessária, em termos de hora de vídeo ou número de conflitos, para se ter um resultado estatisticamente confiável de análise de segurança a partir de uma revisão literária de estudos de caso;
- Identificar a ocorrência e severidade de conflitos usando a técnica sueca e o indicador *Time to Accident*;
- Identificar a ocorrência e severidade de conflitos usando o *software Traffic Intelligence* e os indicadores *Time to Collision* e *Post Encroachment Time*;
- Avaliar a adequabilidade do uso de dados gerados espontaneamente pelo sistema de monitoramento de trânsito do Distrito Federal para análise de conflitos;
- Avaliar a adequabilidade do uso de filmagens feitas por drone para análise de conflitos.

1.3 JUSTIFICATIVA

A aplicação de análise de conflitos no Brasil ainda é um tema com pouca adesão da comunidade científica, tendo sido publicados poucos estudos de caso usando qualquer método que seja de identificação de conflito (MEIRELLES, 2003; PIETRANTONIO & TOURINHO, 2004; ROBLES & RAIA JR, 2008). Sua utilização já foi sugerida por pesquisadores como parte de uma abordagem de análise de segurança viária em várias etapas, mas sem indicação de como analisar estatisticamente os dados coletados para além

da comparação simples da frequência de conflitos ponderado pela severidade do conflito em função do volume de tráfego (DOMINGUES JR., 2001; FRAMARIM, 2003; PIETRANTONIO, 1991; XEREZ, 2002). Além disso, as aplicações publicadas no Brasil utilizam técnicas manuais de identificação de conflito e restringem a análise a somente um indicador, em geral o *Time To Accident* (TA), derivado da técnica sueca. A exceção se dá às investigações envolvendo simulação desenvolvidas (CUNTO & LOUREIRO, 2011; SASAKI *et al.*, 2017).

A presente dissertação propõe aplicar um método de coleta de dados de conflito por meio de algoritmos de visão computacional ainda não testado em estudos brasileiros. Assim, é possível mensurar as dificuldades e pré-requisitos para utilização do método, e comparar os indicadores obtidos de maneira automatizada com aqueles obtidos pela análise manual, utilizando técnicas clássicas e já aplicadas de identificação e mensuração de severidade de conflitos. Será possível, por fim, comparar os diferentes indicadores de conflito empregados, e analisar como eles se comportam para esse ambiente específico.

Além disso, ao se realizar uma revisão de estudos de caso que aplicam técnicas de análise de conflito, espera-se contribuir para a comunidade científica apontando convergências na escolha de técnicas, ferramentas e dimensionamento da base de dados. Esses achados devem ajudar outros pesquisadores a estruturarem seus próprios estudos de caso.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Essa dissertação está organizada em 5 capítulos, sendo o primeiro esta introdução, e os demais, respectivamente: **2. Referencial Teórico**, capítulo no qual é feita uma revisão de estudos de análise de conflitos e dos modelos utilizados para análise; **3. Revisão da Base de Dados em Estudos de Caso**, capítulo que aborda o primeiro objetivo específico e propõe uma discussão sobre como realizar estudos utilizando dados de conflito; **4. Estudo de Caso**, capítulo que descreve a aplicação de técnicas de análise de conflito em interseções no Distrito Federal e discutirá os resultados obtidos; e **5. Conclusão e Recomendação para Estudos Futuros**, capítulo em que se avalia o alcance dos objetivos propostos pela presente Dissertação e são sugeridas novas direções de pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INTRODUÇÃO

O capítulo de referencial teórico é dividido em três tópicos principais, conforme mostra a Figura 2.1. Na primeira parte, discute-se sobre o que é um conflito de trânsito, a justificativa teórica para seu uso como alternativa aos dados de sinistros, e a evolução do interesse da comunidade científica no tema ao longo do tempo. Na segunda parte, são discutidas técnicas e ferramentas de coleta de dados, com especial atenção para os indicadores propostos ao longo dos anos. Por fim, são discutidas as técnicas de análise, ou seja, as aplicações finais dos dados coletados e como eles se revertem em estudos de segurança viária.

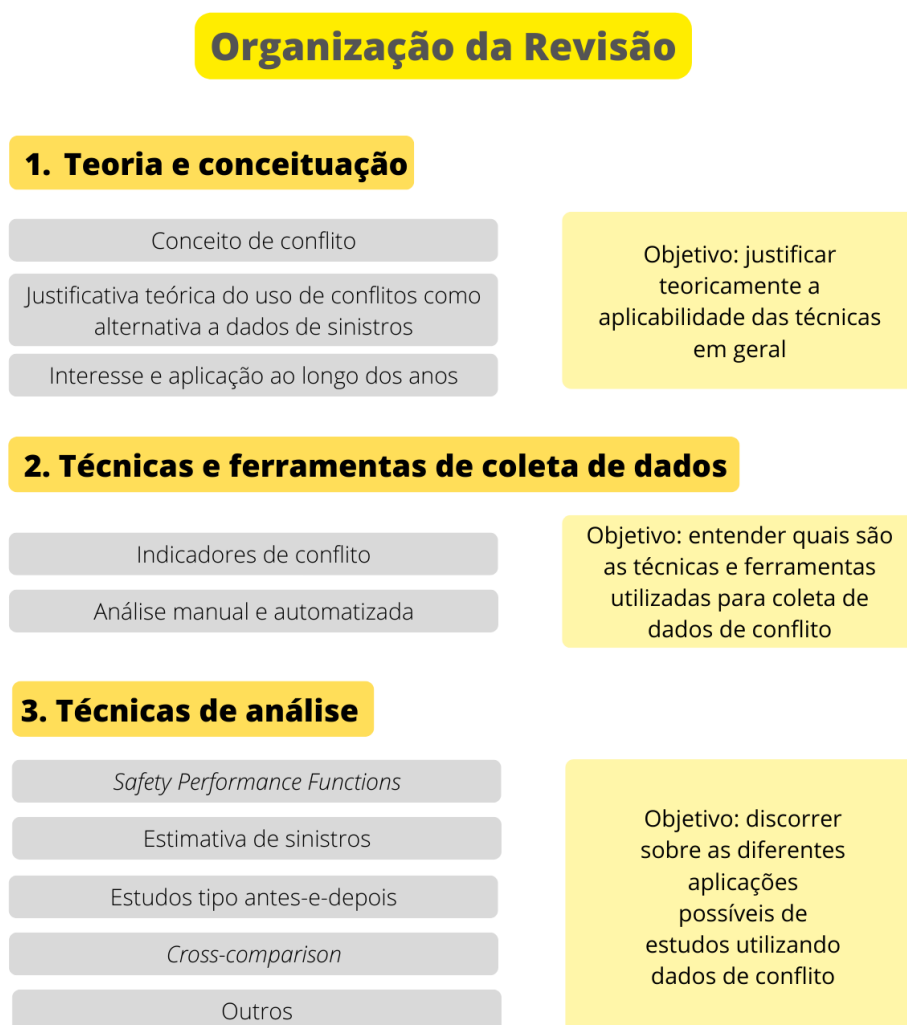


Figura 2.1 Estruturação da revisão da literatura

Esses três eixos ajudarão a entender o atual cenário teórico e prático da análise de conflitos para segurança viária.

2.2 TEORIA E CONCEITUAÇÃO

O sinistro de trânsito ocorre quando um veículo colide com um objeto, animal, pessoa ou outro veículo na via ou em suas adjacências, podendo causar danos materiais e físicos. O termo sinistro de trânsito é o termo oficial usado pelo Código de Trânsito Brasileiro (BRASIL, 2023a), e foi incluído pela Lei nº 14.599/2023 como substituto da expressão “acidente de trânsito”.

O Brasil possui algumas bases de dados que consolidam informações de sinistros de trânsito, tal como o RENAEST, a base do Seguro DPVAT, do DataSUS e a da Polícia Rodoviária Federal (PRF). Pelo formato aberto, consistência e tipo de informação disponível, a base da PRF é amplamente empregada em estudos de segurança viária. A PRF (2023) divulga em sua página eletrônica os dados de sinistro agrupados por ocorrências registrados nas vias cuja fiscalização é de sua responsabilidade. Essas ocorrências são classificadas por tipo de sinistro, que podem ser: colisão (traseira, frontal, transversal ou lateral), que é configurada pelo choque entre dois veículos; choque, que é a colisão de um veículo com objeto fixo; atropelamento, que é o choque entre um veículo e um pedestre ou animal; tombamento, quando após perda de controle de direção o veículo cai sobre uma de suas partes laterais; capotagem, quando após o sinistro o veículo gira sobre si de modo que o teto entra em contato com o chão pelo menos uma vez; engavetamento, quando ocorre o choque de três ou mais veículos no mesmo sentido; ou outros.

Outra base de dados com informações de sinistros de trânsito consolidada para consulta é disponibilizada pelo DataSUS. No entanto, apesar de haver a possibilidade de acesso à informação pelo Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão (e-SIC) desde 2012 (CGU, 2012), as informações disponíveis publicamente se restringem aos óbitos cuja causa foram sinistros de trânsito.

Os dados do Seguro DPVAT (Seguradora Líder, 2020) eram disponibilizados publicamente por meio de um relatório anual, o qual teve sua última edição em 2020. Além da descontinuidade, o tipo de informação que compõe a base e o acesso aos dados apenas de forma agregada dificulta o desenvolvimento de estudos voltados à segurança viária.

A dificuldade de acesso às bases de dados já demonstra um dos problemas mencionados no Capítulo 1 dessa dissertação. Além disso, o site do Ministério dos Transportes

(BRASIL, 2023b) apresenta vários indícios de subnotificação nos registros dos sinistros. A exemplo, a subnotificação de acidentes não fatais no ano de 2018 e o alto percentual de dados não informados que são relevantes para entender o fenômeno dos acidentes, tais como o tipo de acidente, condição meteorológica e condição de iluminação do ambiente. Outrossim, devido à raridade e aleatoriedade com que ocorre o sinistro de trânsito, faz-se necessária a aplicação de técnicas de regressão para suavizar esse comportamento, o que implica o uso de longos períodos de tempo, na ordem de anos, para se usar esses dados, e a consequente agregação de vários fatores de trânsito como por exemplo variações de volume ao longo dos dias e períodos do ano, o que dificulta o entendimento da cadeia de eventos que leva ao sinistro (ESSA & SAYED, 2019). Por fim, o longo período requerido para a confiabilidade dos resultados, reduz a análise de segurança realizada com dados de sinistros a uma análise reativa, e não proativa, dos problemas de trânsito (SAYED & ZEIN, 1999).

O uso de fontes alternativas de dado permite que as análises de segurança viária sejam complementadas usando outros fatores como referência. O conflito de trânsito surge como uma das principais alternativas por três motivos principais: tem ocorrência muito mais frequente que o sinistro de trânsito, o que permite avaliações estatísticas em período de tempo bem mais curto; o custo social de um conflito é irrisório, uma vez que não causa prejuízos materiais ou físicos, ou seja, é uma medida proativa de análise (REYAD *et al.*, 2017); e a observação contínua da via permite identificar quais ações são predecessoras à ocorrência de um conflito.

O uso de conflitos como alternativas aos sinistros para monitoramento de segurança viária foi inicialmente proposto por Perkins & Harris (1968). Em seu artigo, os autores definem conflito como “qualquer situação com potencial de resultar na ocorrência de sinistro”, incluindo a tomada de ações evasivas por usuários da via e infrações de trânsito. A proposta foi bem aceita por alguns pesquisadores da área, que propuseram a realização da I Conferência Internacional de Técnicas de Análise de Conflito (AMUNDSEN & HYDÉN, 1977) na qual o conceito de conflito foi apresentado como "uma situação observável em que dois ou mais usuários da via se aproximam no tempo e espaço de tal maneira que existe um risco de colisão caso seus movimentos permaneçam inalterados" (tradução livre). Apesar desta definição ser a mais utilizada entre pesquisadores (LIANG *et al.*, 2021; TAGELDIN *et al.*, 2017; ZHENG & SAYED, 2020, entre outros), outros autores consideram-na incompleta para definir a possibilidade de colisão.

Outra definição de conflito de trânsito muito adotada foi definida por Parker & Zeeger (1989), que dizem que: “um conflito de trânsito é usualmente composto de uma cadeia de eventos em que um ou mais usuários envolvidos precisa tomar uma ação evasiva para evitar a colisão” (tradução livre). Essa definição amplia a possibilidade de conflitos para aqueles envolvendo apenas um usuário da via, no caso de possível choque com objeto, por exemplo, mas ainda restringe a definição à necessidade de tomada de ação evasiva.

Nessa conceituação, ressalta-se a necessidade da definição de “rota de colisão”, que pode ser identificada por diferentes métodos, principalmente em função das ferramentas tecnológicas disponíveis. Sem ferramentas computacionais e estatísticas adequadas, tais como a visão computacional, a projeção de trajetória fica restrita ao movimento geral executado pelos veículos e a simplificações como manutenção de velocidade constante, desconsiderando as possíveis variações de velocidade, aceleração, mudança de sentido etc. Com a incorporação das possibilidades de variação de movimento, a definição de conflito assume um aspecto bem mais abrangente.

Do ponto de vista teórico, a associação entre conflitos e sinistros é justificada por três conceitos principais: a teoria da pirâmide do *continuum* de segurança (HYDÉN, 1987); a teoria da consistência etiológica (TARKO, 2018); e o modelo causal (DAVIS *et al.*, 2011). Um resumo desses conceitos é apresentado na revisão bibliográfica de Zheng *et al.* (2021):

- Pirâmide do *continuum* de trânsito: teoriza que as interações de trânsito se organizam em formas de pirâmide, sendo que na base se encontram as interações seguras ou sem perturbação, sendo estas as mais frequentes, e quanto mais se aproxima do topo mais inseguras e eventuais são as interações, culminando na ocorrência de sinistros e, na ponta da pirâmide, sinistros fatais. De acordo com essa teoria, os conflitos teriam a mesma origem que os sinistros quanto à causa e forma de interagir com outros atores do trânsito, mas com frequência muito maior;
- Consistência etiológica: define que etiológicamente os conflitos são interações nas quais houve alguma falha que necessitou correção e esta foi bem-sucedida, enquanto para os sinistros a correção não foi bem-sucedida. Ou seja, a diferença entre os dados é a taxa de sucesso na tomada de ação evasiva;
- Modelo causal: ambos, conflito e sinistro são dois resultados alternativos de uma interação contrafactual, ou seja, um resultado dos possíveis movimentos que

poderiam ser tomados pelos usuários envolvidos na interação, incluindo o de não fazer nada.

Empiricamente, houve tentativas de se correlacionar a frequência de conflitos e sinistros. Alguns estudos chegaram a apresentar resultados que sugerem forte correlação, como os de Xie *et al.* (2016) e El-Basyouny & Sayed (2013), embora dificilmente suas conclusões possam ser generalizadas para outras localidades e situações. Dentre as dificuldades para estimar um fator de correlação entre conflitos e sinistros, há a própria aleatoriedade de ocorrência de sinistro e, mesmo que fosse um elemento constante e previsível, as interações de trânsito sofrem influência de tantos fatores concomitantemente que se torna impossível uniformizar um fator “*p*” para estabelecer essa correlação (COOPER, 1984). Por outro lado, associações bem sucedidas foram encontradas entre a frequência de conflito e o volume de tráfego para estados não-congestionados de trânsito, indicando que esse dado deve ser levado em consideração ao se realizar estudos de caso com dados de conflito (EWADH & NEHAM, 2011; LI *et al.*, 2020; QU *et al.*, 2015).

Nos últimos anos, o estudo de técnicas de análise de conflito para monitoramento de segurança tem se tornado mais popular entre os pesquisadores. A Figura 2.2 mostra o aumento de publicações indexadas pelas plataformas *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct* com os termos “*conflict analysis*” e “*safety*” dentro da área de engenharia para ilustrar o interesse crescente da comunidade acadêmica no tema. Observa-se uma tendência de crescimento desde o início do século XXI e uma queda nos anos mais recentes, que pode ser uma consequência da pandemia da COVID-19.

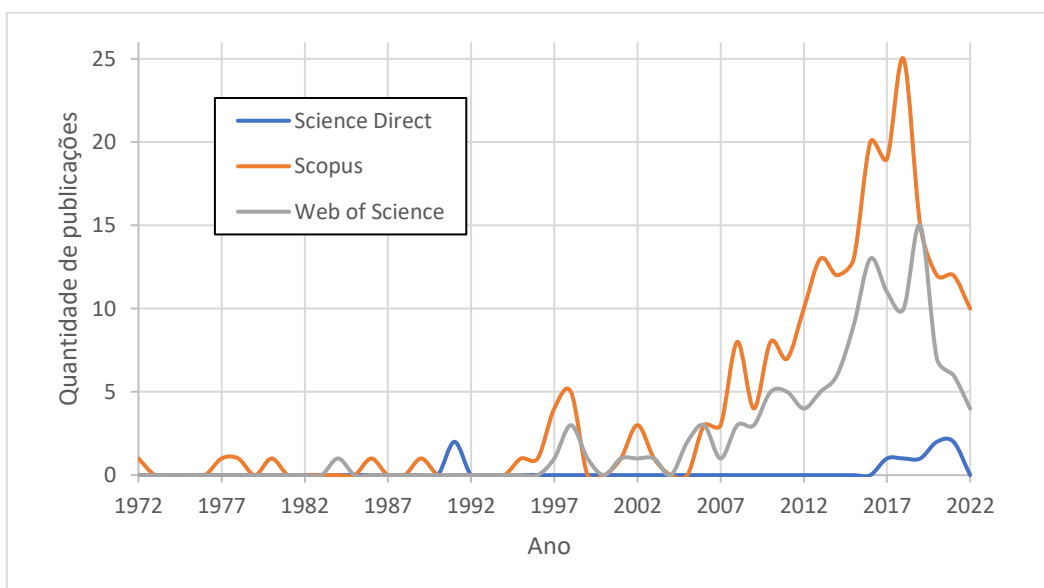


Figura 2.2 Quantidade de publicações por ano para as bases indexadas

2.3 COLETA DE DADOS

Os primeiros estudos de técnicas de análise de conflito dependiam da observação manual *in loco* por pesquisadores da área de trânsito para identificar a ocorrência de uma situação perigosa entre as interações de trânsito. Esse tipo de análise, no entanto, está sujeito à subjetividade dos observadores, e ainda exige atenção exclusiva, com intervalos de descanso (TARKO, 2018). A possibilidade de captura de imagens de vídeo já representa um avanço nesse processo, pois permite que o vídeo seja pausado e, portanto, que sejam analisados intervalos contínuos mais longos e ainda permitir intervalos de descanso ao observador, além de permitir que o vídeo e os conflitos identificados sejam revistos; porém, o problema de subjetividade permanece.

Indicadores objetivos da ocorrência de conflito, tais como o “*Time To Collision*” (TTC) (HAYWARD, 1972) e “*Post Encroachment Time*” (PET) (ALLEN & SHIN, 1978), tendem a dirimir o enviesamento por subjetividade do observador. O TTC é calculado pelo tempo em segundos até a colisão, caso nenhuma atitude venha a ser tomada, fazendo uma extrapolação das trajetórias considerando a manutenção de velocidade e direção de ambos os veículos envolvidos no conflito. O PET é a diferença de tempo, em segundos, em que dois veículos passam pelo mesmo ponto, que seria o ponto projetado de colisão.

Técnicas consolidadas de análise de conflito para segurança viária utilizam esses indicadores para identificar e mensurar a severidade do conflito observado. É o caso, por exemplo, da técnica sueca, que utiliza o indicador *Time to Accident* (TA) para classificar como leve ou severo (ou inexistente) um conflito observado *in loco* ou por vídeo (LAURESHYN & VARHELYI, 2018). O TA nada mais é do que o TTC medido no momento em que a ação evasiva é tomada para evitar a colisão.

Os holandeses também desenvolveram uma técnica própria de análise de conflitos baseada nos indicadores TTC e PET (KRAAY *et al.*, 2013). Além dos valores dos indicadores citados, a técnica usa as informações do tipo de conflito, tipo de usuário envolvido e consequência do potencial sinistro para classificar o conflito em uma escala de severidade de 1 a 5.

Ambos os indicadores TTC e PET, no entanto, assumem que a velocidade é constante na extrapolação da trajetória. Para considerar outros fatores que podem ter impacto no potencial de severidade e na probabilidade de ocorrência de um sinistro, alguns autores sugerem inclusão de outros aspectos, como aceleração, para se mensurar a severidade e

ocorrência de um conflito. É o caso, por exemplo, do indicador *Deceleration Rate to Avoid Crash* (DRAC) (COOPER & FERGUSON, 1976, *apud* CUNTO & LOUREIRO, 2011), calculado pela equação 2.1.

$$DRAC_{i,t} = \frac{(V_{i,t} - V_{i-1,t})^2}{2[(X_{i-1,t} - X_{i,t}) - L_{i-1,t}]} \quad [2.1]$$

Na equação 2.1, V é a velocidade de cada veículo (i e $i-1$) calculada no momento t , X é a posição de cada um deles e L é o comprimento do veículo à frente.

O desenvolvimento de técnicas automatizadas de identificação de conflito usando recursos de visão computacional permite a análise de um volume de dados bem superior àqueles coletados manualmente, expandindo a aplicabilidade da técnica (ZHENG *et al.*, 2014), além de permitir o cálculo automático de indicadores fazendo a projeção da localização imagética com a localização real dos objetos rastreados por algoritmo. A publicação de *softwares* e códigos abertos capazes de rastrear veículos com taxas superiores a 70% de acerto, como o *software Traffic Intelligence* (JACKSON *et al.*, 2013) e o algoritmo “*Simple Online and Realtime Tracking*” (SORT) (WOJKE *et al.*, 2017) coincide temporalmente com o aumento de publicações relacionadas à análise de conflito observado na Figura 2.2.

Para além da facilitação da etapa de identificação de conflitos e da computação dos valores de indicadores tradicionais, estão em desenvolvimento algoritmos baseados em visão computacional para identificar alterações no comportamento de usuários da via e, portanto, detectar a presença de um conflito automaticamente não só por meio da proximidade e da extrapolação de trajetória, mas pela presença de uma ação evasiva. É o caso, por exemplo, da medida de permutação da entropia (“*Permutation Entropy*” no original, ou PE) proposta por Tageldin *et al.* (2017).

2.4 APLICAÇÕES

Indicadores de conflitos são especialmente úteis para avaliar o efeito de medidas de engenharia (geometria ou forma de controle do tráfego) em um período muito mais curto do que seria necessário para reproduzir a mesma análise a partir de dados de sinistros (ZHENG *et al.*, 2021). Indicadores de conflitos podem ser usados tanto como substitutos de sinistros, replicando as mesmas técnicas de análise e modelagem, como em estudos tipo antes-e-depois, “*cross-comparison*” ou em funções de monitoramento de segurança;

ou para prever a ocorrência de sinistros. Alguns exemplos de tipos de análise encontrados frequentemente na literatura são trazidos nos tópicos a seguir.

2.4.1 Estudos tipo antes-e-depois

Estudos tipo antes-e-depois visam identificar mudanças na segurança dos transeuntes após feita uma modificação na via ou na gestão de trânsito. Para estudos que analisam a frequência de acidentalidade antes e depois de alguma reestruturação da via, por exemplo, é necessária uma série histórica de ocorrências de sinistros antes e após a execução da obra, considerando-se um intervalo de ao menos um ano para cada período analisado. Framarim (2003), por exemplo, sugere que análise de conflitos seja utilizada para fazer um diagnóstico em curto prazo de obras de melhoria na via, e um diagnóstico do índice de sinistralidade, considerando o fator de regressão à média, seja feito posteriormente para suplantiar os resultados encontrados com uma análise a longo prazo.

Os estudos de Kaparias *et al.*, 2013; Reyad *et al.*, 2017; Sayed *et al.*, 2012; St-Aubin *et al.*, 2013; Tageldin *et al.*, 2014; Tageldin *et al.*, 2018, exemplificam o emprego de técnicas de análise de conflito para comparação tipo antes-e-depois.

2.4.2 Cross-comparison

Diferentemente dos estudos antes-e-depois, que avaliam o efeito de uma modificação pelo histórico antes e depois da modificação e comparando com locais de controle, os estudos tipo “*cross-comparison*” comparam o efeito de elementos de trânsito em localidades diferentes, que normalmente possuem características semelhantes exceto o elemento estudado, ou levando em consideração a possibilidade de interferência das características não diretamente analisadas.

Por exemplo, Madsen & Lahrmann (2017) comparam o nível de segurança para 5 *layouts* diferentes para ciclistas na Dinamarca utilizando como indicador a ocorrência de conflitos identificados com as técnicas sueca e holandesa, citadas no Item 2.2, considerando o fluxo de veículos motorizados, ciclistas e pedestres para cada *layout*. Outro exemplo de estudo nessa linha é Guo *et al.* (2016), que compara a ocorrência de conflitos entre veículos que fazem giro à esquerda e aquelas que seguem em linha reta para diferentes desenhos da curva de retorno. Nesse caso, foi usada uma única interseção para análise, que possuía dois tipos diferentes de traçado para o giro à esquerda.

2.4.3 Modelos de monitoramento de segurança

Para calcular o nível de segurança em um segmento viário, podem ser usados modelos estatísticos calculados a partir dos índices de performance viária chamados de funções de performance de segurança ou, no original, *Safety Performance Functions* (SPFs) (REYAD *et al.*, 2017).

Assim como em modelos de segurança elaborados a partir de dados de sinistros, aqueles elaborados com dados de conflitos podem ser modelados por diversas abordagens estatísticas, como o *Full-Bayes Approach* (ESSA & SAYED, 2019), Modelos Generalizados Lineares (ESSA & SAYED, 2018), modelos *logit* ordenados (STIPANCIC *et al.*, 2016), regressão logística (XIE *et al.*, 2019) ou *Functional Data Analysis*, que configura a combinação linear de diversas funções-base (YANG *et al.*, 2021). Além de serem uma forma de avaliação da segurança do local, modelos estatísticos também são utilizados para identificar quais os fatores contribuintes para a ocorrência e severidade de conflitos (HUSSEIN *et al.*, 2015; STIPANCIC *et al.*, 2016).

2.4.4 Estimativa da ocorrência de sinistros

Os conflitos podem também ser usados para, em conjunto com outras informações sobre o fluxo de veículos no local analisado e funções estatísticas apropriadas para a extrapolação da informação coletada, estimar a probabilidade de ocorrência de um sinistro. Essa estimativa pode ser feita com dois tipos de modelos, o modelo causal e a teoria do valor extremo (*Extreme Value Theory*, ou EVT) (ZHENG *et al.*, 2021). O modelo causal trata o sinistro e o conflito como possíveis resultados de uma interação, e a probabilidade de ocorrência de um ou de outro é função das condições iniciais e ações evasivas tomadas (DAVIS *et al.*, 2011). A EVT é um modelo estatístico que utiliza informações de um evento comum e abundante, como o conflito, para estimar a ocorrência de outro evento, de ocorrência rara e aleatória, como o sinistro, relacionado ao primeiro.

Na revisão realizada os estudos utilizando EVT foram mais frequentes que aqueles baseados no modelo causal (ZHENG & SAYED, 2019a, 2019b, 2020; ZHENG *et al.*, 2019; 2018).

3 REVISÃO DA LITERATURA: ESTUDOS DE CASO COM DADOS DE CONFLITO

3.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem como meta cumprir o primeiro objetivo específico delimitado no Item 1.2 e responder à seguinte questão de pesquisa: “Quantas horas de observação de uma interseção ou segmento de via são necessárias para coletar dados de conflitos suficientes para realizar uma análise estatística das condições de segurança da via?”. Essa dúvida surge por causa da alta variabilidade de tamanho de base de dados encontrada em estudos de caso, justificada por diversos fatores relativos a cada caso em particular, inclusive algumas restrições de ordem prática como disponibilidade de recursos humanos, computacionais e financeiros.

Para responder à pergunta de pesquisa, uma revisão integrativa da literatura foi realizada (WHITTEMORE & KNAFL, 2005). A partir dessa revisão, é feita uma discussão de quais aspectos determinam o tamanho da base de dados para cada grupo de trabalhos. O detalhamento da metodologia é abordado no Item 3.2 e os itens seguintes trazem uma discussão a respeito dos pontos em comum e divergentes observados nessa revisão.

3.2 MÉTODO

Em uma pesquisa exploratória, percebeu-se que a base de dados indexada *Scopus* é a mais completa para a área de engenharia e transportes dentre aquelas com acesso livre para discentes e docentes da Universidade de Brasília. Portanto, essa base foi escolhida para o levantamento da literatura dentro da área de interesse.

A busca foi feita procurando por termos semelhantes no título, resumo ou palavras-chave que seguissem a combinação: (“*traffic conflict**” AND (“*road safety*” or “*transport**”) AND NOT “*simulation*”)¹. A combinação foi escolhida usando termos abrangentes para evitar que trabalhos pertinentes fossem excluídos, uma vez que a taxa de publicação na área de análise de conflitos para segurança já não é tão extensa, como pôde ser observado pela Figura 2.2. Além disso, os trabalhos foram restritos por tipo (somente artigos completos publicados em congresso ou periódico), por área (engenharia) e por data

¹ Tradução: (“conflito* de trânsito” E (“segurança viária” OU “transport*”) E NÃO “simulação”). O símbolo * indica que palavras com aquele radical serão procuradas, independente da declinação.

(artigos escritos em 2011 ou mais recentes). A Figura 3.1 traz de maneira gráfica as restrições. A busca foi feita no dia 15 de julho de 2022 e retornou 179 resultados.

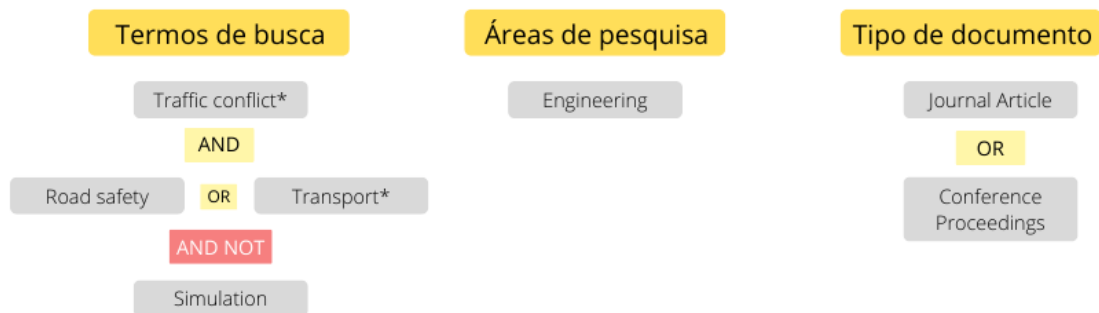


Figura 3.1 Restrições de busca para revisão integrativa da literatura

Os artigos resultantes desse levantamento foram lidos analiticamente buscando-se extrair as seguintes informações:

- Como foram coletados os dados de conflito: do ponto de vista do usuário, por observação da via (seja por observação *in loco*, gravação por equipamento próprio ou sistema de monitoramento) ou por simulação?
- Dados de conflito foram utilizados como indicador de segurança aplicado em casos reais?
- Qual o objetivo do trabalho?
- Quais métodos estatísticos foram utilizados para se analisar os resultados?
- Qual(is) tipo(s) de conflito analisado(s)?
- O método de identificação de conflitos utilizado foi manual, automatizado ou ambos?
- Quais indicadores de conflito foram utilizados e qual o limiar escolhido para tal indicador?
- Quanto tempo se dedicou à coleta de dados?
- Quanto tempo foi de fato utilizado para se fazer a análise de dados?
- Quantos conflitos foram identificados?
- Qual o volume de tráfego dos locais analisados?
- O tamanho da base de dados foi considerado limitante para a apresentação dos resultados?

As duas primeiras perguntas foram usadas para excluir os artigos em que a coleta dos dados foi realizada pelo ponto de vista do usuário (interno ao veículo), por simulação ou

não aplicassem dados de conflito como indicador de segurança em casos reais. Os demais pontos foram anotados sempre que o texto os respondesse. No total, 62 artigos enquadravam-se dentro dos critérios de inclusão e exclusão, e a Revisão Integrativa se restringiu a esses trabalhos.

Trabalhou-se com duas hipóteses para responder à questão de pesquisa. A primeira era de que o método estatístico utilizado define a quantidade de conflitos necessária para se obter um resultado estatisticamente significativo. A segunda é de que o objetivo do trabalho indica o tamanho da base de dados necessária para se responder à pergunta de pesquisa. Sendo assim, os Itens 3.3 e 3.4 discutem aspectos comuns dos trabalhos agregados quanto ao método estatístico de análise e quanto ao objetivo da pesquisa. O Item 3.5 conclui esse capítulo considerando os principais aspectos observados ao longo da Revisão.

3.3 AGREGAÇÃO QUANTO AO MÉTODO ESTATÍSTICO

A agregação de trabalhos quanto ao método estatístico utilizado traz indícios de uma relação entre o tamanho da base de dados e os tipos de análise que podem ser feitos. Apesar de em praticamente todas as categorias determinadas existir ao menos um trabalho feito com quantidade discrepante de horas em relação aos demais, em geral trabalhos que se restringem à aplicação de estatística descritiva usam uma base de dados menor do que trabalhos que fazem análises de correlação, seja para teste de hipóteses ou para definição de variáveis preditoras em modelos de segurança. Estes últimos, por sua vez, geralmente utilizam uma base de dados menor do que aqueles que trabalham com teoria de extrapolação de dados.

A Tabela 3.1 traz uma amostra das variações do tamanho da base de dados por tipo de abordagem estatística, que serão mais bem detalhadas a seguir.

Tabela 3.1 Tamanho da base de dados por tipo de abordagem estatística usada

| Método | Intervalo de horas | | Número de conflitos | |
|-------------------------------------|--------------------|---------|---------------------|--------|
| | Mínimo | Máximo | Mínimo | Máximo |
| Estatística descritiva | 0,5 | 800 | 40 | 11.308 |
| <i>Kappa</i> | - | - | 100 | 967 |
| Monte Carlo | 210 | 350.400 | Indefinido | 2.241 |
| Qui-Quadrado | 63 | 816 | 649 | 10.500 |
| Regressão linear | 9,5 | 48 | 877 | 3.150 |
| Regressão <i>logit</i> ou logística | 16 | 816 | 72 | 3.492 |
| Poisson | 80 | 874 | 3.395 | 3.395 |
| Modelos de resposta ordenada | 1,5 | 195 | 12 | 2.617 |
| Teoria do Valor Extremo | 7 | 144 | 1.714 | 12.471 |

3.3.1 Estatística descritiva

A maior parte dos estudos de caso utiliza apenas estatística descritiva, tais como gráficos de dispersão, tabelas e mapas de calor para apresentar seus resultados. A variação do tamanho da base de dados coletada para estudos de caso é naturalmente abrangente, pois as condições particulares de cada estudo de caso é igualmente variável entre um estudo e outro.

Observou-se que, especialmente os trabalhos que divulgam a aplicação de *frameworks* automatizados para identificação de conflitos, trabalham com intervalos pequenos de tempo. Isso é coerente porque observar variações de velocidade e proximidade entre os veículos é suficiente para determinar a funcionalidade da automação proposta, sem a necessidade de grandes volumes de dados de conflito para validação dos resultados.

A Tabela 3.2 traz as características gerais dos estudos selecionados, tais como o objetivo, tipo de conflito analisado, quantidade de horas coletadas e utilizadas e o número de conflitos. O levantamento foi realizado para os artigos que empregaram a estatística descritiva. Por ela, pode-se observar também que diversos autores não discriminam em seus trabalhos o tamanho da base de dados utilizada.

Tabela 3.2 Principais fatores de coleta de dados para estudos com estatística descritiva

| Objetivo | Tipo de conflito | Quantidade de horas | | Nº de conflitos | Referência |
|---|---|---|------------|-----------------|----------------------------------|
| | | Coletadas (por interseção) | Utilizadas | | |
| Aplicação de novo indicador proposto (FPET) | Entre bicicletas elétricas na mesma direção | Intervalos de 30 min a 3h30min no horário de pico | 9,5 | Aprox. 3.150 | (QU <i>et al.</i> , 2021) |
| Aplicação de novo indicador proposto (DEI) | Entre veículos motorizados e pedestres | Mais de 40 dias | Aprox. 800 | Aprox. 11.308 | (OLSZEWSKI <i>et al.</i> , 2020) |
| Aplicação de novo indicador proposto (zonas críticas de conflito) | Entre veículos motorizados e ciclistas | Intervalos de 5min | Aprox. 18 | 45 | (WANG <i>et al.</i> , 2018b) |
| Aplicação de novo indicador proposto (PE e cubo de espaço) usando processos automatizados | - | - | - | Aprox. 706 | (WEI <i>et al.</i> , 2019) |
| Aplicação de método automatizado para detecção de conflitos | Tipo <i>left-turn</i> | - | 0,5 | 188 | (SUN <i>et al.</i> , 2021) |
| Aplicação de método automatizado para detecção de conflitos | - | Intervalos que somavam 1,5h | 0,6 | - | (CHEN <i>et al.</i> , 2020) |
| Aplicação de método automatizado para identificação de conflitos | - | - | - | 135/dia | (JUNGHANS <i>et al.</i> , 2016) |

| | | | | | |
|---|--|--|--------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Comparação de técnicas de identificação de conflito | Entre veículos motorizados e ciclistas | De 06h às 21h em 5 dias úteis | Aprox. 225 | Aprox. 50 ⁽¹⁾ | (LAURESHYN <i>et al.</i> , 2017) |
| Estudo de caso | Entre veículos motorizados e pedestres | Em intervalos pequenos (medido com drone) | - | - | (CHAUDHARI <i>et al.</i> , 2021) |
| Estudo de caso | Entre veículos motorizados e pedestres | Em intervalos pequenos (medido com drone) | - | - | (CHAUDHARI <i>et al.</i> , 2020) |
| Estudo de caso | - | - | - | - | (SIREGAR <i>et al.</i> , 2018) |
| Estudo de caso | Tipo <i>merging (right-turn)</i> | De 7h30 às 16h30 por 3 dias | 27 | 541 ⁽³⁾ | (ZHANG & MENG, 2018) |
| Estudo de caso | Entre veículos motorizados e pedestres | Horário de pico (matutino, “almoço” e fim de tarde) por 2 ou 3 dias | Aprox. 30 | 40 ⁽⁴⁾ | (CHENG <i>et al.</i> , 2018) |
| Estudo de caso | Entre veículos motorizados e ciclistas | Aprox. de 6h às 21h por 5 dias úteis | Aprox. 775 | 107 | (FYHRI <i>et al.</i> , 2017) |
| Estudo de caso | Tipo <i>merging</i> e <i>crossing</i> | 2h pela manhã e 2h pela tarde | 16 | Aprox. 504 | (MEEL <i>et al.</i> , 2017) |
| Estudo de caso | Entre veículos motorizados | Horário de pico matutino (07h às 09h) e de fim de tarde (16h às 18h) para 3 dias úteis | 16 | Aprox. 400 | (CAO <i>et al.</i> , 2016) |
| Estudo de caso | Envolvendo veículos motorizados, não motorizados e de grande porte | De 9h às 20h por 2 dias | 110 ⁽⁵⁾ | 871 | (SADEQ & SAYED, 2016) |
| Estudo de caso | Entre veículos motorizados fazendo giro à esquerda e pedestres atravessando na faixa | De 9h às 16h por 5 dias | 105 | 44 | (IASMIN <i>et al.</i> , 2016) |
| Estudo de caso | Envolvendo veículos motorizados fazendo manobra de retorno | Por 8h consecutivas | 64 | Aprox. 1.984 | (MEEL <i>et al.</i> , 2016) |
| Estudo de caso | Durante e após evento de compartilhamento da via por pedestres, ciclistas e veículos motorizados | 30 min antes, 15 min entre a abertura e fechamento das vias e 30 min após operação “ <i>shared space</i> ” | 1,25 | Aprox. 531 | (HUSSEIN <i>et al.</i> , 2016) |
| Estudo de caso | Envolvendo veículos motorizados, não motorizados e de grande porte | De 7h às 18h por 2 dias | 22 | Aprox. 1.000 | (ZAKI <i>et al.</i> , 2016) |
| Estudo de caso | Entre carros e motocicletas em manobra de giro à esquerda ou à direita | 2 a 4h | 24 | 56 ⁽⁶⁾ | (MANAN & VÁRHELYI, 2015) |
| Estudo de caso | Entre veículos motorizados e pedestres | De 9h às 17h | 24 | 381 | (ZAKI <i>et al.</i> , 2013) |
| Estudo de caso | Tipo <i>rear-end</i> | De 9h30 às 10h30 | 1 | - | (GUIDO <i>et al.</i> , 2013) |
| Estudo de caso | - | 1h dividida em intervalos de 15 min | 4 | Aprox. 292 ⁽⁷⁾ | (EWADH & NEHAM, 2011) |
| Estudo de caso comportamental | Entre ciclistas trafegando em ciclovia | Horário de pico (matutino, “almoço” e fim de tarde) por 3 dias ⁽²⁾ | 21,25 | 74 ⁽⁸⁾ | (van der HORST <i>et al.</i> , 2014) |
| Estudo de caso tipo antes-e-depois | Envolvendo veículos motorizados, não motorizados e de grande porte | 4,5 h antes e 4,5 depois da modificação implementada | 27 | 277 | (van der HORST <i>et al.</i> , 2017) |

| | | | | | |
|--|--|--|-----------|-----------------------------|---------------------------------|
| Estudo de caso tipo antes-e-depois | - | 2 dias antes e 2 dias depois da modificação implementada | 64 | Aprox. 7.360 ⁽⁹⁾ | (TAGELDIN <i>et al.</i> , 2014) |
| Estudo de caso tipo antes-e-depois | Entre veículos motorizados e pedestres | Diversos intervalos | 36 | Aprox. 250 | (PIN <i>et al.</i> , 2015) |
| Estudo de caso tipo antes-e-depois | Tipo <i>rear-end</i> e <i>merging</i> | Entre 1h30 e 6h antes e aprox. 6h depois | Aprox. 21 | Aprox. 1.300 | (SAYED <i>et al.</i> , 2012) |
| Estudo de caso da linearidade da razão conflito-volume | Tipo <i>rear-end</i> | 8 intervalos de 1h ao longo de 1 dia | 8 | 456 | (QU <i>et al.</i> , 2015) |

⁽¹⁾ A soma de conflitos encontrados com as técnicas manuais e convencionais (sueca e holandesa) foram, respectivamente, 46 e 56. Utilizando método automatizado baseado na previsão de movimento (PSMS), foram encontrados 1.848 conflitos. ⁽²⁾ Extraídos de sistema de gravação que funcionava 24h ininterruptamente por 7 dias. ⁽³⁾⁽⁶⁾⁽⁸⁾ conflitos graves. ⁽⁴⁾ sendo 9 conflitos leves, 14 conflitos médios, 17 conflitos graves. ⁽⁵⁾ obtidos em 5 ângulos. ⁽⁷⁾ Média de 36,7 conf/10³veí e 2000 veí/h. ⁽⁹⁾ quantidade média de eventos/hora.

3.3.2 Teste de hipóteses

Os testes de hipóteses, em geral, trabalham com duas possibilidades:

- h_0 : não há diferença entre os elementos analisados;
- h_1 : há diferença entre os elementos analisados.

Os testes estatísticos usados para testar as hipóteses mensuram a correlação entre duas ou mais amostras e respondem o quanto elas convergem ou divergem dentro de um determinado intervalo de confiança.

No caso específico dos trabalhos analisados nesta Revisão, testes de hipóteses foram usados basicamente para três fins: comparar a eficácia de indicadores de conflito; comparar mudanças na frequência de conflito; e validar metodologias propostas. Os testes usados foram *kappa*, Qui-Quadrado (X^2), simulação de Monte Carlo e o método empírico de *Bayes*.

Dependendo do teste a ser realizado, o intervalo de dados necessário não é muito extenso. Para comparação de indicadores, por exemplo, um intervalo curto de gravação, entre 30 min e 1h30, é suficiente para avaliar a melhor aderência de um ou outro indicador ou uma combinação de ambos, considerando que a melhor avaliação para identificação de conflitos é aquela feita por especialistas com experiência em trânsito. A estratégia adotada por Guo *et al.* (2018), por exemplo, foi gravar um intervalo longo de horas e escolher um período curto, movimentado e sem ocorrências atípicas para comparar a taxa de “acerto” obtida usando um indicador por proximidade e outro por mudanças de trajetória.

Já para estudos que comparam mudanças na frequência de conflitos devido à presença ou introdução de algum elemento diferente, é importante considerar as variações aleatórias

que ocorrem ao longo dos dias e, portanto, os resultados serão menos enviesados se incluírem dados coletados em mais de um dia. Cabe salientar que a coleta de dados deve ser feita de maneira uniforme entre os locais de controle e os de análise, e os resultados serão limitados às condições analisadas.

Os testes de validação metodológica foram os que utilizaram intervalos mais longos de tempo (dezenas de horas) e quantidade de conflitos (mais de mil). Talvez um dos motivos para isso seja porque ambos os estudos nessa linha trabalharam com a correlação entre conflito e sinistro e, sendo o sinistro um evento de ocorrência rara e aleatória, são necessários mais elementos explanatórios para se ter um intervalo de confiança mais amplo.

A Tabela 3.3 traz o levantamento de objetivo, tipo de teste usado, quantidade de horas coletadas e utilizadas e o número de conflitos usado no teste, dos artigos dessa Revisão que empregaram teste de hipóteses. Importante ressaltar que todos estes trabalho, salvo o estudo de Orsini *et al.* (2021), versaram sobre trechos urbanos. O estudo destacado foi desenvolvido em 40 trechos rodoviários italianos. Dessa forma, pelo cenário estudos ser rodoviário, a quantidade de interações entre veículos tende a ser bem menor.

Tabela 3.3 Principais fatores de coleta de dados para trabalhos com teste de hipóteses

| Objetivo | Teste | Horas de gravação | | Nº de conflitos | Referência |
|--|--------------------|--|------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| | | Coletadas (por interseção) | Utilizadas | | |
| Comparação de indicadores | <i>Kappa</i> | - | - | 100 | (TAGELDIN & SAYED, 2016) |
| Comparação de indicadores | <i>P-value</i> | 23 | 1,5 | 195 | (GUO <i>et al.</i> , 2018) |
| Proposição de novo indicador | <i>Kappa</i> | - | - | 967 | (TAGELDIN <i>et al.</i> , 2017b) |
| Estudo de caso tipo antes-e-depois | <i>Monte Carlo</i> | 37h antes e 68h depois da mudança, no período diurno | 210 | - | (GOUDA <i>et al.</i> , 2021) |
| Estudo de caso tipo <i>cross-comparison</i> | χ^2 | 1h30 na hora de pico e 1h30 fora da hora de pico por 7 dias consecutivos | 63 | 946 | (UZONDU <i>et al.</i> , 2019) |
| Montar uma função de performance de segurança (SPF) para prever a ocorrência de sinistros usando dados de conflitos e outras características de trânsito | χ^2 | - | 816 | Aprox. 3.492 (4,28/h) | (EL-BASYOUNY & SAYED, 2013) |
| Proposição de método para monitoramento de segurança e previsão da ocorrência de sinistros a partir de dados de conflito | <i>Monte Carlo</i> | 1 ano de coleta em horários variados | 350.400 | 2.241 | (ORSINI <i>et al.</i> , 2021) |
| Calcular a correlação entre sinistros e conflitos identificados pela metodologia proposta | χ^2 | De 9h às 16h em 5 dias consecutivos | 70 | Aprox. 10.500 (entre 100 e 200/h) | (XIE <i>et al.</i> , 2016) |
| Estudo de caso tipo antes-e-depois | <i>Bayes</i> | 12h consecutivas por 2 dias antes e após a modificação | Aprox. 240 | Aprox. 27.000 | (REYAD <i>et al.</i> , 2017) |

3.3.3 Modelagem com variáveis preditoras

Os modelos utilizando variáveis preditoras podem ser aplicados tanto para previsão de frequência e severidade dos conflitos dadas as condições viárias, quanto para mensurar o nível de segurança de um local a partir da frequência e severidade de conflitos. Durante a leitura dos artigos que compõem esta Revisão, foram identificados seis diferentes métodos de mensurar a influência das variáveis preditoras: modelos de regressão linear; modelos de resposta ordenada; modelos baseados em Poisson; modelos de regressão logística; *generalized event count*; e uso de árvores de decisão.

Talvez por restringirem as características viárias da análise, modelos foram elaborados e considerados satisfatórios para os objetivos de pesquisa utilizando amostras relativamente pequenas, de menos de 100 conflitos, como em Mao *et al.* (2018). Muitos trabalhos indicam a necessidade de ampliar a quantidade de locais analisados para se ter uma amostra mais significativa do comportamento do usuário da via e das demais variáveis preditoras utilizadas em ambientes de tráfego diferentes. Em geral, os dados são coletados em apenas uma cidade, mesmo que seja utilizada uma amostra grande de segmentos, como em Sacchi & Sayed (2016).

A coleta por meio de filmagem é feita, geralmente, em mais de um dia por interseção, independente se o intervalo de tempo de gravação é restrito a algumas horas (somente horário de pico, durante e fora do horário de pico ou em pequenos intervalos ao longo do dia) ou por várias horas consecutivas. Isso diminui a possibilidade de um dia com trânsito atípico enviesar os resultados do modelo. Além disso, há fortes indícios de que a ocorrência de conflitos é influenciada pelo volume de tráfego, grau de congestionamento e velocidade de trânsito (LI *et al.*, 2020; QU *et al.*, 2015). Portanto, essa variabilidade deve ser considerada na elaboração de modelos de segurança para diminuir o enviesamento dos resultados.

A Tabela 3.4 traz o levantamento do objetivo do trabalho, o tipo de conflito e ambiente de trânsito considerado (coluna “Contexto”), a quantidade de horas de gravação coletadas por local e utilizadas na pesquisa, a quantidade de conflitos utilizada para a construção dos modelos, o modelo escolhido para a seleção de variáveis e as limitações apontadas pelos autores.

Tabela 3.4 Principais fatores para trabalhos usando variáveis preditoras

| Objetivo | Contexto | Horas de gravação | | Qtde. de conflitos | Modelo | Limitações | Referência |
|---|---|---|------------|-----------------------|-----------------------------------|--|------------------------------|
| | | Coletadas | Utilizadas | | | | |
| Correlacionar a presença de violações de trânsito com a ocorrência de conflitos | Conflitos entre veículos motorizados e pedestres em faixas de pedestre sinalizadas | Horário de pico: 09h às 11h e 16h às 18h | 48h | 877 | <i>Multiple linear regression</i> | Quanto ao tipo de indicador de conflito utilizado | (KUMAR; & GHOSH, 2022) |
| Identificar fatores que afetam a severidade dos conflitos | Conflitos entre veículos motorizados e pedestres em faixas de pedestre sinalizadas | Horário de pico: 09h às 11h e 16h às 18h | 48h | 877 | <i>Generalized ordered logit</i> | Quanto ao tipo de indicador de conflito utilizado | (KUMAR & GHOSH, 2022) |
| Influência de fatores de controle semafórico no nível de segurança da interseção | Conflitos entre veículos em interseções sinalizadas | - | - | 0,49 a 4,25 por ciclo | <i>Generalized linear</i> | Necessidade de validação em outros datasets | (ESSA & SAYED, 2018) |
| Associar fatores de trânsito com a severidade do conflito | Conflitos envolvendo veículos motorizados de duas rodas em ambientes de trânsito pouco organizados | 23h | 1,5h | 195 | <i>Ordered response</i> | Quanto ao tamanho da amostra e a quantidade de locais | (GUO <i>et al.</i> , 2018) |
| Modelar o espaço seguro de passagem para bicicletas elétricas | Conflitos envolvendo veículos motorizados e bicicletas ou bicicletas elétricas | Horário de pico (17h30 às 18h30) por 10 a 14 dias | 24 | 98 | <i>Spearman</i> | Quanto a validação dos resultados encontrados | (LI <i>et al.</i> , 2020) |
| Prever a ocorrência de conflitos | Conflitos entre veículos motorizados e ciclistas em ambientes com e sem o fluxo de ônibus residenciais | Segmentos de 10 a 20 min | 9h | Aprox. 644 | <i>Generalized event count</i> | Resultados devem ser adaptados para replicação em outros locais | (WANG <i>et al.</i> , 2018b) |
| Influência da instalação de área de parada (TWA) na segurança viária | Conflitos entre veículos motorizados em interseções sinalizadas | 2h com TWA e 2h sem | 12h | 2.617 | <i>Ordered probit e ANOVA</i> | Características individuais do motorista e variações dentro do ciclo semafórico. | (JIANG <i>et al.</i> , 2017) |
| Construir funções de performance de segurança (SPF) para prever ocorrência de sinistros e conflitos | Conflitos tipo <i>left-turn</i> e <i>rear-end</i> entre veículos motorizados em interseções sinalizadas | 8h por dia, 2 dias | 784 | Aprox. 3.395 | <i>Poisson-gamma</i> | Quanto aos tipos de conflito analisado e o método de identificação de conflitos (manual) | (SACCHI & SAYED, 2016) |

| | | | | | | | |
|--|---|--|-------|-------------------------------|---|---|----------------------------------|
| Efeitos do comportamento perigoso de ciclistas na probabilidade de ocorrência de conflitos | Conflitos envolvendo ciclistas em interseções sinalizadas | 4h ou 16h | 80h | 3.395 | <i>Poisson-gamma</i> | - | (BAI <i>et al.</i> , 2013) |
| Propor um método para avaliação de segurança em tempo real considerando o tipo de faixa de rolamento | Conflitos entre veículos motorizados tipo <i>rear-end</i> em rodovias | De 8h a 16h | - | Média de 0,31/min ou 0,15/30s | <i>Binary logistic regression</i> e <i>random forest</i> | Quanto ao tipo de trecho viário, quanto ao campo de visão dos vídeos da base de dados, quanto ao tipo de conflito e a não-inclusão de níveis de severidade na análise | (HU <i>et al.</i> , 2022) |
| Avaliar a segurança de pedestres | Conflitos entre veículos motorizados fazendo manobra de giro à direita (tráfego na mão esquerda) e pedestres em interseções sinalizadas | Horário de pico: 09h às 11h e 16h às 18h | - | 567 | <i>Binary logistic regression</i> e <i>K-means clustering</i> | Quanto ao tipo de conflito analisado e outras características de trânsito | (KUMAR <i>et al.</i> , 2019) |
| Estudo de caso | Interseções de diferentes tipos na Nigéria | 1h30min no horário de pico e fora do horário de pico | 63h | 842 | <i>Binary logistic regression</i> | Quanto às características comportamentais e aos locais avaliados | (UZONDU <i>et al.</i> , 2018) |
| Cálculo do espaço “gap” crítico para giro à esquerda | Conflitos entre veículos motorizados tipo <i>left-turn</i> em interseções sinalizadas | 9h às 16h, 3 dias | 21h | 72 | <i>Logistic regression</i> | - | (MAO <i>et al.</i> , 2018) |
| Proposição de metodologia para avaliação de segurança | Conflitos tipo <i>rear-end</i> e <i>sideswipe</i> envolvendo motociclistas em vias urbanas | 7h às 11h e 14h às 18h, 2 dias | 16h | 170 | <i>Logit e logistic regression</i> | - | (LE PHAN <i>et al.</i> , 2016) |
| Estudo de caso ⁽²⁾ | Conflitos entre veículos fazendo giro à esquerda e pedestres na faixa de pedestres | 9h às 16h, 5 dias | 105 | 44 | <i>Logistic regression</i> | - | (IASMIN <i>et al.</i> , 2016) |
| Investigar fatores que influenciam a manobra de ultrapassagem | Conflitos durante ultrapassagem em rodovias de pista simples | - | 2.228 | 4.167 | <i>Decision tree</i> | - | (MOHAYMANY <i>et al.</i> , 2015) |

| | | | | | | | |
|---|---|---|-----|-----------------------|--|---|-----------------------------|
| Construir funções de performance de segurança (SPF) para prever ocorrência de sinistros e conflitos | Conflitos entre veículos motorizados em interseções sinalizadas | - | 816 | Aprox. 3.492 (4,28/h) | Lognormal e <i>negative binomial</i> | Quanto à dificuldade de identificação de conflitos manualmente, informações sobre trânsito e condições geométricas dos locais de análise e necessidade de validação em outros <i>datasets</i> | (EL-BASYOUNY & SAYED, 2013) |
| Proposição de indicador utilizando múltiplas variáveis de trânsito | Conflitos envolvendo bicicletas elétricas na mesma direção | Intervalos variados de 30 min e 3,5h no horário de pico | 9,5 | Aprox. 3.150 | ANOVA e funções lineares Fisher ⁽¹⁾ | Quanto à quantidade de dados utilizados | (QU <i>et al.</i> , 2021) |

⁽¹⁾ Usados para calcular a significância das variáveis que compunham o indicador proposto. O artigo propõe que a identificação do conflito seja feita por *K-means*. ⁽²⁾ Indicadores usados foram a técnica sueca de análise de conflitos e a teoria de aceitação do “gap/lap”. A regressão foi usada para calcular o “gap/lap” crítico.

Além dos trabalhos detalhados anteriormente, outros dois artigos selecionados pelos critérios da Revisão trabalham com variáveis preditoras para monitoramento de segurança viária, usando abordagens diferentes das enquadradas na Tabela 3.4.

Yang *et al.* (2021) sugerem o uso de função analítica para monitoramento de segurança e comparam nove funções para suavização da curva da função proposta que trabalham com combinações de respostas lineares e não lineares. A função considerada mais otimizada foi aplicada em uma interseção gravada por aproximadamente 1 hora durante a qual foram encontradas sete ocorrências de conflito. Os autores recomendam que o resultado encontrado seja validado por outras pesquisas.

Zhang *et al.* (2020) usam um método de visão computacional chamado *long short-term memory* (LSTM) para prever a ocorrência de conflitos entre veículos motorizados e pedestres, mensurado pelo valor do PET, a partir de uma série de variáveis preditoras. Modelo foi aplicado em 4 horas de vídeo durante as quais foram observados 131 conflitos. Autores recomendam ampliação dos tipos de indicadores e validação em outros *datasets* do modelo proposto.

3.3.4 Métodos estatísticos de extrapolação

De acordo com Zheng *et al.* (2021), dois modelos estatísticos podem ser usados para estimar a ocorrência de sinistros usando apenas dados de conflito: o modelo causal e a teoria do valor extremo (*Extreme Value Theory*, ou EVT). Considerando os termos de busca e as demais restrições impostas, nessa Revisão foram encontrados apenas trabalhos usando EVT para fazer esse tipo de estimativa.

Apesar de haver outros resultados menos recentes que já utilizam a teoria do valor extremo para estimar a ocorrência de sinistros a partir de dados de conflito que não foram encontrados utilizando os termos-chave da pesquisa (FARAH & AZEVEDO, 2017; ZHENG *et al.*, 2018) e de ter sido uma ideia surgida no começo do século XXI (SONGCHITRUKSA & TARKO, 2006), todos os trabalhos identificados por esta Revisão datam de 2019 ou mais recentes.

Pela revisão, foi observado que uma grande quantidade de dados é necessária para a aplicação do EVT. A base da teoria é de que um evento abundante e recorrente pode ser usado como referência para se estimar a probabilidade de ocorrência de outro evento, de ocorrência rara, a ele associado, como é o caso de conflitos e sinistros. É necessário, portanto, milhares de conflitos para se fazer essa estimativa com um intervalo de confiança maior, e os resultados observados na literatura corroboram essa afirmativa. Ocorre que, por mais que seja muito mais frequente do que o sinistro, o conflito também é uma situação atípica de trânsito e pouco frequente em relação às passagens imperturbadas.

Além disso, os dados de conflito e sinistro só podem ser considerados relacionados se ocorrem na mesma situação. Portanto, pode não ser conveniente restringir a observação apenas para horários de pico usando esse método de análise pois, apesar da maior ocorrência de conflitos em um mesmo intervalo de horas. A estimativa estará restrita a esse intervalo pequeno do dia, perdendo assim a vantagem do modelo, e limitando tanto a quantidade de conflitos que podem ser observadas quanto a quantidade de sinistros usadas para validação do modelo.

Todos os trabalhos encontrados nessa linha usam bases contendo mais de mil conflitos para o cálculo. Muitos dos estudos indicam que essa quantidade de conflitos ainda é limitada. Uma correlação mais forte entre sinistros e conflitos foi encontrada utilizando limiares considerados mais severos (XIE *et al.*, 2016), o que implica também na necessidade de uma maior quantidade de horas para identificação de conflitos. Além disso, todos utilizam técnicas de visão computacional para identificar a ocorrência de conflitos. Isso é coerente com a grande quantidade de base de dados.

Recomenda-se, enfim, que grandes períodos (pelo menos 8 horas) em mais de um dia de gravação seja utilizado por local para se ter maiores níveis de confiança nos resultados

encontrados. A Tabela 3.5 resume algumas características dos trabalhos utilizados para se fazer essa análise.

Tabela 3.5 Dados de coleta para trabalhos tipo EVT

| Objetivo | Gravação | | Indicador | | Nº de conflitos | Qtde. de dados foi considerada limitante? | Referência |
|--|---------------------------------------|------------------|--|--|-----------------|---|------------------------------|
| | Coleta (por interseção) | Horas utilizadas | Coleta | Análise | | | |
| Validação de método proposto por outro pesquisador | 2 dias 12 horas | 48 | TTC ≤ 3s | TTC ≤ 3s | 6.591 | Não | (ARUN <i>et al.</i> , 2022a) |
| Comparar eficiência por indicador | 2 dias 12 horas | 144 | TTC ≤ 3s | MTTC ≤ 2,867s DRAC ≥ 9,952 m/s ² PSD ≤ 3,166s Delta-V ≤ 25,917 | 12.471 | Não | (ARUN <i>et al.</i> , 2022b) |
| Estudo de caso | 2 a 4 horas | 13 | TTC ≤ 3s | MTTC ≤ 3,82s | 2.128 | Sim | (ZHENG & SAYED, 2020) |
| Comparar eficiência por abordagem | 15 a 17 horas em 2 dias | 32 | TTC ≤ 4s PET ≤ 4s | TTC ≤ 4s PET ≤ 4s | 3.640 599 | Não | (ZHENG & SAYED, 2019a) |
| Estudo de caso (antes-e-depois) | 2 dias antes e 2 dias depois (mínimo) | 141 | TTC ≤ 3s | TTC ≤ 0,5s | 5.152 | Sim | (ZHENG & SAYED, 2019b) |
| Comparar eficiência por indicador | 1 a 2 horas | 7 | TTC ≤ 4s MTTC ≤ 4s PET ≤ 4s DRAC > 0 m/s ² | TTC ≤ 4s MTTC ≤ 4s PET ≤ 4s DRAC > 0 m/s ² | 1.714 | Sim | (ZHENG <i>et al.</i> , 2019) |

3.4 AGREGAÇÃO POR OBJETIVO DO TRABALHO

Os trabalhos foram agregados em função dos seus objetivos em quatro categorias: validação de metodologias propostas, comparação entre indicadores, modelagem de segurança e estudos de caso.

Nos itens a seguir, os tipos de estudo são avaliados quanto ao tamanho da base de dados utilizada. A Tabela 3.6 traz os intervalos de coleta de dados para cada tipo de estudo. Foi possível observar que o agrupamento dos estudos por objetivo resultou em uma variabilidade ainda maior no tamanho da amostra que o obtido quando pela agregação em função do método estatístico utilizado.

Tabela 3.6 Intervalo de coleta de dados dos trabalhos agregados por objetivo

| Tipo de estudo | Intervalo de horas | | Número de conflitos | |
|------------------------------|--------------------|---------|---------------------|--------|
| | Mínimo | Máximo | Mínimo | Máximo |
| Validação de metodologia | 0,5 | 800 | 45 | 11.308 |
| Comparação entre indicadores | 1,5 | 225 | 100 | 12.471 |
| Modelagem de segurança | 1 | 350.400 | 7 | 4.167 |
| Estudos de caso | 1 | 775 | 40 | 27.000 |

3.4.1 Validação de metodologias propostas

Nessa categoria, foram englobados trabalhos com três objetos de validação diferentes: *frameworks* automatizados para detecção de conflitos, metodologias para análise de conflitos e indicadores de conflitos. Dessas, somente a primeira categoria apresentou um padrão de escolha do tamanho da base de dados: utilizar uma base de dados já previamente disponível e analisada em trabalho anterior.

Observa-se também que a proporção entre frequência de conflitos e tempo de gravação depende do tipo de conflito analisado e da proporção de cada usuário da via na composição de trânsito do local estudado. A exemplo cita-se o comparativo dos estudos de Wang *et al.* (2018) e Qu *et al.* (2021) que propuseram um novo indicador para conflitos envolvendo ciclista. Qu *et al.* (2021) trabalhou com bicicletas elétricas e mensurou mais de 2.000 conflitos em um intervalo de 9,5 horas. Já Wang *et al.* (2018) trabalhou com bicicletas convencionais e o método utilizado identificou apenas 45 conflitos em 18 horas.

Em geral, foi observado que, para casos de validação de alguma metodologia, indicador ou técnica de automação, não há necessidade – ao mesmo tempo em que não há impedimento algum – de se repetir a observação por mais de um dia. Mesmo que seja um dia com movimento atípico, como o objetivo não é mensurar ou comparar a segurança do local, e sim identificar a acurácia do método ou indicador, condições atípicas de trânsito não impediriam o alcance do objetivo.

A Tabela 3.7 traz o intervalo de coleta de dados para cada tipo de objetivo definido. Uma vez que os trabalhos já foram expostos individualmente entre as Tabela 3.2 e Tabela 3.5, os resultados são agregados por objetivo e método estatístico utilizado.

Tabela 3.7 Intervalo de coleta de dados para trabalhos de validação metodológica

| Objetivo | Método estatístico | Quantidade de horas usadas | | Nº de conflitos identificados | | Referências |
|-------------------------------------|--|----------------------------|--------|-------------------------------|---------------|--|
| | | Mínimo | Máximo | Mínimo | Máximo | |
| Validação de técnica de automação | Estatística descritiva | 0,5 | 70 | 188 | Aprox. 10.500 | (CHEN <i>et al.</i> , 2020; JUNGHANS <i>et al.</i> , 2016; SUN <i>et al.</i> , 2021; WEI <i>et al.</i> , 2019; XIE <i>et al.</i> , 2016) |
| Validação de metodologia de análise | Regressão <i>logit</i> e logística | | 16 | | 170 | (LE PHAN <i>et al.</i> , 2016) |
| Validação de metodologia de análise | EVT | 7 | 48 | 1.714 | 6.591 | (ARUN <i>et al.</i> , 2022a; ZHENG <i>et al.</i> , 2019) |
| Validação de indicador proposto | Estatística descritiva | 9,5 | 800 | 45 | Aprox. 11.308 | (OLSZEWSKI <i>et al.</i> , 2020; QU <i>et al.</i> , 2021; WANG <i>et al.</i> , 2018a) |
| Validação de indicador proposto | Teste de hipóteses ⁽¹⁾ (<i>kappa</i>) | | - | | 967 | (TAGELDIN <i>et al.</i> , 2017b) |

⁽¹⁾ Comparação feita com indicadores tradicionais TTC e PET.

3.4.2 Comparação de indicadores

O maior desafio teórico de trabalhos que comparam a eficiência de indicadores é justificar como é mensurado o nível de acerto. Em geral, trabalha-se com a ideia de que o melhor indicador de segurança ou insegurança no trânsito é a análise de especialistas experientes (GUO *et al.*, 2018; TAGELDIN & SAYED, 2016). Cabe repetir o que já foi mencionado no Item 3.3.2: um intervalo curto de gravação, talvez pela escolha de um trecho mais representativo, é suficiente para se mensurar maior aderência de um ou outro método a partir da comparação com a opinião de especialistas.

Já comparar indicadores para aplicação de metodologias, se o método requer uma quantidade maior de conflitos para sua validação, é natural o uso de uma quantidade maior de base de dados para comparação dos resultados entre si. Essa diferença pode ser observada pela Tabela 3.8, que resume o intervalo de coleta de dados para cada categoria. Uma vez que os trabalhos já foram expostos individualmente entre as Tabelas 3.2 e 3.5, os resultados são agregados por objetivo e método estatístico utilizado.

Tabela 3.8 Intervalo de coleta de dados para trabalhos de comparação de indicadores

| Objetivo | Método estatístico | Quantidade de horas usadas | | Nº de conflitos identificados | | Referências |
|---------------------------|------------------------|----------------------------|------------|-------------------------------|------------|--|
| | | Mínimo | Máximo | Mínimo | Máximo | |
| Comparação de indicadores | EVT | 32 | 144 | 599 | 12.471 | (ARUN <i>et al.</i> , 2022b; ZHENG & SAYED, 2019a) |
| Comparação de indicadores | Teste de hipóteses | | 1,5 | 100 | 195 | (GUO <i>et al.</i> , 2018; TAGELDIN & SAYED, 2016) |
| Comparação de hipóteses | Estatística descritiva | | Aprox. 225 | | Aprox. 50* | (LAURESHYN <i>et al.</i> , 2017) |

*A soma de conflitos encontrados com as técnicas manuais e convencionais (sueca e holandesa) foram, respectivamente, 46 e 56. Utilizando método automatizado baseado na previsão de movimento (PSMS), foram encontrados 1.848 conflitos.

3.4.3 Modelagem de segurança viária

Existe uma forte intercessão entre os trabalhos mencionados nesse Item e aqueles mencionados pelo Item 3.3.3, uma vez que variáveis preditoras são em geral usadas para se fazer modelagem de segurança viária. No entanto, nesse Item serão comentados também trabalhos que utilizaram outras técnicas para construção de seus modelos e técnicas de monitoramento de segurança propostos.

Os trabalhos de modelagem foram divididos também em três subcategorias: aqueles que usam elementos de tráfego para prever ou monitorar a ocorrência de conflitos ou sinistros, aqueles que usam dados de conflito para estimar limites de segurança para o trânsito, e aqueles que correlacionam um elemento específico com maior ou menor ocorrência de

conflitos. Observa-se que, independentemente do objetivo específico do trabalho, uma limitação em comum entre eles é a dificuldade de transferibilidade dos resultados para outras localizações.

Os trabalhos de modelagem trabalharam com quantidades entre aproximadamente 100 e 5.000 conflitos – à exceção do trabalho de Yang *et al.* (2021) que inclusive indica explicitamente a necessidade de maior base de dados para validação dos resultados – e, mais do que a quantidade de conflitos, o formato em que os dados foram coletados influencia no não-enviesamento dos resultados. Pode haver, por exemplo, grande variedade de fluxo entre os horários de pico e fora de pico e, portanto, o pesquisador considerar desnecessário investigar a segurança em ambiente com pouco fluxo de tráfego, e não há nenhum impedimento para tal decisão, desde que estejam todos, leitor e autor, conscientes das restrições de aplicação da modelagem proposta.

A Tabela 3.9 resume o intervalo de coleta de dados para cada categoria. Uma vez que os trabalhos já foram expostos individualmente entre as Tabelas 3.2 e 3.5, os resultados são agregados por objetivo e método estatístico utilizado.

Tabela 3.9 Intervalo de coleta de dados para trabalhos de modelagem

| Objetivo | Método estatístico | Quantidade de horas usadas | | Nº de conflitos identificados | | Referências |
|--|--|----------------------------|---------|-------------------------------|--------|--|
| | | Mínimo | Máximo | Mínimo | Máximo | |
| Modelagem de segurança | EVT | | 13 | | 2.128 | (ZHENG & SAYED, 2020) |
| Modelagem de segurança | FDA | | 1 | | 7 | (YANG <i>et al.</i> , 2021) |
| Modelagem de segurança | Visão computacional | 4 | 350.400 | 131 | 2.241 | (HU <i>et al.</i> , 2022; ORSINI <i>et al.</i> , 2021; ZHANG <i>et al.</i> , 2020) |
| Modelagem de segurança | Variáveis preditoras (regressão logística, linear e <i>Bayesiana</i>) | - | 784 | - | 3.395 | (ESSA & SAYED, 2018; HU <i>et al.</i> , 2022; SACCHI & SAYED, 2016) |
| Modelagem de segurança | <i>Pearson</i> (X^2) para avaliação de correlação das variáveis | | 63 | | 946 | (UZONDU <i>et al.</i> , 2019) |
| Modelagem de elementos de trânsito | Variáveis preditoras (técnicas de regressão) | 21 | 24 | 72 | 98 | (LI <i>et al.</i> , 2020; MAO <i>et al.</i> , 2018) |
| Correlação entre elementos específicos e a frequência de conflitos | Variáveis preditoras (técnicas de regressão e árvore de decisão) | 9 | 2.228 | 644 | 4.167 | (EL-BASYOUNY & SAYED, 2013; KUMAR & GHOSH, 2022; MOHAYMANY <i>et al.</i> , 2015; WANG <i>et al.</i> , 2018b) |

3.4.4 Estudos de caso

Dado que os termos escolhidos durante a busca (Item 3.2) tinham como objetivo encontrar aplicações reais de estudos com análise de conflitos, já era esperado que a maior parte dos artigos consistissem em estudos de caso. Estes foram separados em apenas duas subcategorias: estudos tipo antes-e-depois e outros estudos de caso.

Para estudos de caso tipo antes-e-depois, observa-se que os estudos priorizam a coleta de dados por períodos mais longos e por mais de um dia para diminuir a tendência de enviesamento por efeitos aleatórios de tráfego nos locais analisados. Mesmo trabalhando com intervalo de tempo mais curto, por exemplo, Van der Horst *et al.* (2017) fizeram gravações das áreas de interesse por 7 dias consecutivos, permitindo escolher um intervalo de tempo sem anomalias de trânsito. Além desse trabalho, o único outro estudo que não delimita se foram usados mais de um dia de gravação para coleta de dados foi (SAYED *et al.*, 2012).

Quanto aos demais estudos de caso, poucos usaram algum modelo para comparar a frequência de conflitos entre uma e outra interseção analisada e menos ainda utilizaram algum método estatístico de correlação, como Qui-Quadrado, para calcular a diferença entre os locais ou momentos analisados. Como muitos desses estudos são também comprovações de aplicabilidade de métodos já conhecidos de análise de conflitos em situações específicas, vários trabalhos restringiram as coletas de dados a horários de pico, que permitem a identificação de maior quantidade de conflito usando menor volume de gravações. Alguns trabalhos restringem a coleta por motivos particulares das condições de estudo, por exemplo, imposição de intervalos curtos quando a coleta é feita por drone (CHAUDHARI *et al.*, 2021; 2020) ou dificuldade de instalação de equipamento de monitoramento (MEEL *et al.*, 2017). Por outro lado, houve trabalhos em que apenas uma pequena parte dos dados coletados foi considerada satisfatória para aplicação do estudo de caso (CAO *et al.*, 2016; van der HORST *et al.*, 2014). Outra peculiaridade observada foi o uso de diversos ângulos em uma mesma interseção para ampliar a capacidade de identificação de conflitos e dos motivos causadores destes (REYAD *et al.*, 2017; SADEQ & SAYED, 2016; TAGELDIN *et al.*, 2014).

A Tabela 3.10 resume o intervalo de coleta de dados para cada categoria. Uma vez que os trabalhos já foram expostos individualmente entre as Tabelas 3.2 e 3.5, os resultados são agregados por objetivo e método estatístico utilizado.

Tabela 3.10 Intervalo de coleta de dados para trabalhos de estudo de caso

| Objetivo | Método estatístico | Quantidade de horas usadas | | Nº de conflitos identificados | | Referências |
|---|--|----------------------------|------------|-------------------------------|---------------|--|
| | | Mínimo | Máximo | Mínimo | Máximo | |
| Estudo de caso com modelos de segurança | Teste de hipóteses ou correlação | 12 | 63 | 842 | 2.617 | (JIANG <i>et al.</i> , 2017; UZONDU <i>et al.</i> , 2018) |
| Estudo de caso com modelos de segurança | Estatística descritiva | 16 | 80 | 567 | 3.395 | (BAI <i>et al.</i> , 2013; KUMAR <i>et al.</i> , 2019) |
| Estudo de caso | Estatística descritiva | 1 | Aprox. 775 | 40 | Aprox. 2.000 | (MANAN & VÁRHELYI, 2015; CAO <i>et al.</i> , 2016; CHAUDHARI <i>et al.</i> , 2021, 2020; CHENG <i>et al.</i> , 2018; EWADH & NEHAM, 2011; FYHRI <i>et al.</i> , 2017; GUIDO <i>et al.</i> , 2013; HUSSEIN <i>et al.</i> , 2016; IASMIN <i>et al.</i> , 2016; MEEL <i>et al.</i> , 2016, 2017; SADEQ & SAYED, 2016; SIREGAR <i>et al.</i> , 2018; van der HORST <i>et al.</i> , 2014; ZAKI <i>et al.</i> , 2013; ZAKI <i>et al.</i> , 2016; ZHANG & MENG, 2018) |
| Estudo tipo antes-e-depois | EVT | | 140,6 | | 5.152 | (ZHENG & SAYED, 2019b) |
| Estudo tipo antes-e-depois | Teste de hipóteses (Monte Carlo e Bayes) | 210 | Aprox. 240 | - | Aprox. 27.000 | (GOUDA <i>et al.</i> , 2021; REYAD <i>et al.</i> , 2017) |
| Estudo tipo antes-e-depois | Estatística descritiva | 21 | 64 | Aprox. 250 | Aprox. 7.360 | (PIN <i>et al.</i> , 2015; SAYED <i>et al.</i> , 2012; TAGELDIN <i>et al.</i> , 2014; van der HORST <i>et al.</i> , 2017) |

3.5 DISCUSSÃO

De forma geral, o tamanho da base de dados disponível é o que determina as possibilidades de trabalho com os resultados encontrados, e não o contrário. Isto porque a coleta de dados fica restrita à disponibilidade de equipamentos de gravação, do tamanho e qualificação da equipe para fazer a contagem manual dos conflitos, ou a conferência e otimização dos processos automatizados. Além disso, o tipo de indicador escolhido para análise, o tipo de conflito estudado e o volume de tráfego influenciam a ocorrência de conflitos por intervalo de tempo – além, claro, do nível de segurança e ordenamento do trânsito. Portanto, não é possível estabelecer uma métrica fixa de quantos conflitos se espera obter para determinado intervalo de tempo sem considerar as particularidades de cada local de análise.

Foi possível observar que modelagens mais complexas exigem uma maior quantidade de ocorrências para a obtenção de um intervalo de confiança mais amplo, como no uso de modelos de regressão para considerar a heterogeneidade dos dados (GUO *et al.*, 2018), que utilizam dados na ordem de milhares de conflitos. Isso também foi observado para os métodos de previsão de frequência de sinistros a partir de dados de conflitos, nesta

dissertação descritos como métodos de extrapolação (ZHENG & SAYED, 2019b, 2020; ZHENG *et al.*, 2019).

É importante ressaltar que o período de coleta de dados impacta na capacidade de resposta dos resultados. Se os conflitos foram coletados durante o horário de pico, esses resultados não podem ser expandidos para horário fora do pico. Se foram coletados dados de conflito tipo *rear-end*, esses resultados não podem ser expandidos para outros tipos de conflito. Para análise de segurança envolvendo fatores particulares de tráfego, essa restrição pode não ser um empecilho, mas, para análises mais abrangentes, é importante coletar dados em intervalos variados ao longo de mais de um dia. Talvez por isso estudos tipo antes-e-depois sejam tão uniformes quanto à coleta de dados, que comumente é feita em intervalos longos durante 2 ou mais dias, antes e depois da modificação do ambiente estudado. Esse cuidado é necessário para dirimir o enviesamentos. Cabe alertar que a modificação realizada pode não impactar na frequência e severidade de conflitos em geral, mas pode influenciar na mudança do tipo de conflito ou, ainda, na transferência para outro, local ou horário não detectado antes.

Os critérios utilizados para identificar um conflito também têm relação direta com a proporção entre horas de filmagem e número de conflitos encontrados. Espera-se que a revisão feita neste trabalho possa ser usada como referência em trabalhos futuros para se fazer, antes da aplicação da metodologia escolhida, o dimensionamento do trabalho a ser efetuado.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 OBJETIVO

O objetivo principal do estudo de caso foi comparar diferentes métodos de coleta de dados de conflito. Para isso, foram usadas diferentes tomadas de filmagem em interseções no Distrito Federal – três captadas pelo sistema de monitoramento de vídeo do Departamento de Estradas e Rodagem do Distrito Federal (DER) e uma captada por um drone em sobrevoo ao local – e duas técnicas de coleta de ocorrência de conflito – manual e automatizada.

4.2 MÉTODO

O estudo de caso foi feito em três pontos do Distrito Federal conforme descritos na Tabela 4.1 (o Apêndice A traz um mapa com a localização dos três locais de estudo). O material de vídeo utilizado no estudo foi captado por câmeras do sistema de monitoramento de trânsito, do centro de controle operacional do Departamento de Estradas e Rodagem do Distrito Federal (DER). O órgão cedeu as gravações que ocorreram em dias úteis, aproximadamente entre 16h30 e 19h30, ou seja, em horário de pico. As gravações são captadas por um receptor digital tipo HDTV.

Tabela 4.1 Locais de realização do estudo de caso

| Local | Identificação do local (DER) | “Nome” | Latitude (graus) | Longitude (graus) |
|-------|--|---------|------------------|-------------------|
| 01 | DF-075 EPNB KM 8,1 Viaduto da junção com DF-001 | EPNB001 | -15,876422 | -48,027608 |
| 02 | DF-075 EPNB KM 2,0 | EPNB075 | -15,870075 | -47,972961 |
| 03 | DF-085 EPTG KM 10,3 Altura de Águas Claras | EPTG | -15,830678 | -48,038889 |

Para cada local, foi feita uma análise da geometria e fluxo de veículos, e uma análise manual de potenciais conflitos a partir da tomada de ação evasiva por parte de algum dos veículos envolvidos. Foi também realizado o rastreamento automatizado dos objetos utilizando a ferramenta *Traffic Intelligence* (SAUNIER *et al.*, 2010). Quando possível, foi feita a coleta automatizada dos indicadores *Time To Collision* (TTC) e *Post Encroachment Time* (PET) utilizando a mesma ferramenta. A Figura 4.1 resume o passo a passo descrito neste parágrafo, e os subitens a seguir detalham o procedimento para cada etapa da metodologia.

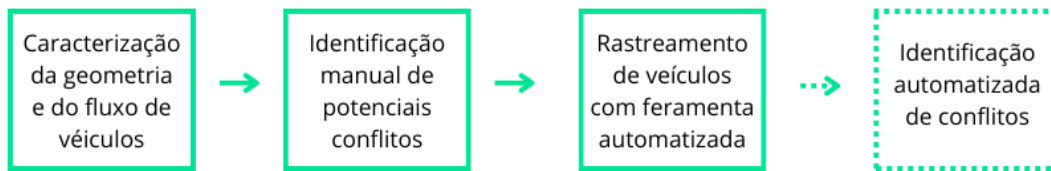


Figura 4.1 Passo a passo da metodologia para estudo de caso

4.2.1 Caracterização da geometria e do fluxo de veículos

Cada local de estudo foi identificado de acordo com a latitude e a longitude referenciadas para cada câmera e usando a malha *online* da *Google Satellite* disponibilizada pelo *plugin QuickMapServices* no software *QGis*. Para cada local foi captada uma imagem aérea e descritas as características da pista de rolamento e da região lindeira, como: número de faixas, presença de semáforos, presença de imóveis na região, presença de passarelas ou faixas de pedestre. Os eixos de arruamento, rodovias e viadutos foram exportados em formato *shapefile* pelo GeoPortal (IDE, 2023) da Secretaria de Desenvolvimento Urbano do Distrito Federal (SEDUH). Além disso, foi feita uma busca nos sites oficial do GDF, DETRAN e DER por informações do funcionamento dos semáforos e características de fluxo dos locais de estudo.

O fluxo de veículos foi contabilizado para intervalos de 15 minutos. A contagem foi classificada em quatro tipos de veículos: motocicletas, carros, ônibus e caminhões; e, sempre que possível, o acesso e saída utilizados pelos veículos. Esses dados foram abulados conforme indicado em Brasil (2006).

4.2.2 Identificação manual de potenciais conflitos

Cada vídeo disponibilizado foi observado integralmente pela pesquisadora para a identificação manual de conflitos. Um conflito é definido pela tomada de ações evasivas, que podem ser observadas pela mudança brusca de velocidade e/ou direção por um ou mais veículos em interação. Cada conflito identificado foi descrito detalhando-se: os usuários envolvidos, o momento de ocorrência da ação evasiva, a descrição do conflito e de possíveis causas, e o ponto projetado em que ocorreria o sinistro. Conforme indicado por Laureshyn & Varhelyi (2018), os vídeos foram observados no dobro da velocidade de gravação e as observações foram feitas em intervalos contínuos de no máximo 15 minutos para evitar fadiga muscular.

Após a identificação de potenciais conflitos, foram estimadas a velocidade e distância dos veículos envolvidos no conflito para permitir o cálculo do indicador *Time to Accident* (TA) (LAURESHYN & VARHELYI, 2018). Para isso, os trechos de vídeo com potenciais conflitos identificados foram repassados e, pausando o vídeo em intervalos de aproximadamente 1 segundo, as posições de cada veículo envolvido no potencial conflito foram marcadas no *QGIS*, usando como referência elementos da via, tais como pintura da faixa de rolamento postes de luz, observados tanto no vídeo analisado quanto no mapa do *QuickMapServices*.

Assim, para cada conflito, foi feito um arquivo *shapefile* com a trajetória, segundo a segundo, de cada veículo envolvido e uma planilha com a distância percorrida, o tempo e a velocidade, segundo a segundo, dos mesmos veículos. Para evitar distorções, a velocidade foi suavizada usando a linha de tendência de média móvel para três valores. Com a velocidade de cada veículo e a distância entre eles no momento da tomada de ação evasiva, é possível calcular o TA e estimar a gravidade do conflito conforme a Figura 4.2. Nesse ábaco, a velocidade do conflito é a velocidade do veículo mais veloz.

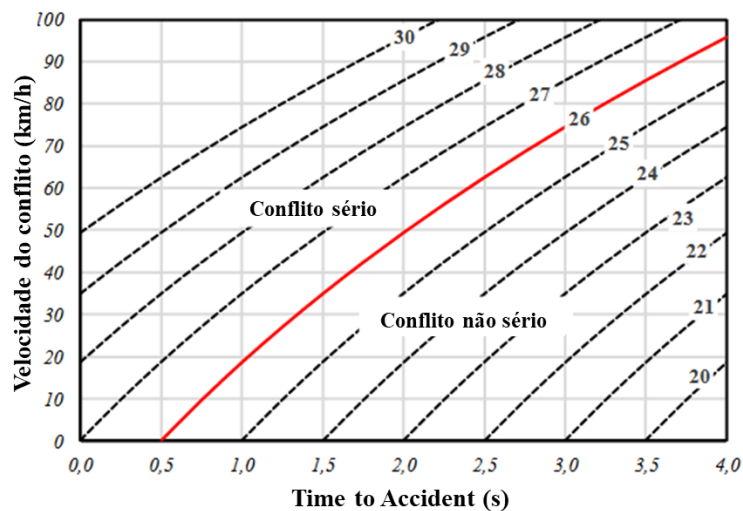


Figura 4.2: Estimativa de severidade de conflito pela técnica sueca
 Fonte: Adaptado de LAURESHYN & VARHELYI (2018)

É importante salientar que, por mais que se busque uma padronização na identificação e mensuração de severidade de conflito, esse método pode conter enviesamento pela subjetividade de quem observa. Perceber a tomada de ação evasiva e diferenciar um movimento indicador de conflito de um movimento meramente cauteloso, sobretudo quando as imagens apresentam alguma distorção, depende da experiência de campo e de análises dessa natureza do observador.

4.2.3 Rastreamento de veículos com ferramenta automatizada

Utilizando o *software Traffic Intelligence* disponibilizado *online* pelo professor Nicolas Saunier da Universidade Politécnica de Montréal, é possível fazer o rastreamento automatizado, projeção de posições veiculares e, assim, calcular os indicadores de conflito tais como *Time to Collision* (TTC) e *Post Encroachment Time* (PET).

O *software Traffic Intelligence* (JACKSON *et al.*, 2013) foi escrito para uso em Linux. Optou-se, portanto, por usar essa plataforma para fazer as demais operações. Uma vez instalado o sistema operacional Linux, foi copiado para o computador usado na pesquisa o repositório do *Traffic Intelligence* e a biblioteca em *python* “*traffickingintelligence*”. O passo a passo disponibilizado no repositório *Traffic Intelligence* (2022) provê as instruções para instalação do módulo executável que faz o rastreamento de objetos.

O passo a passo para análise de conflitos utilizando o *Traffic Intelligence* é dado pela Figura 4.3 e detalhado nos subitens a seguir.



Figura 4.3 Passo a passo para identificação automatizada de conflitos

i. *Calibração do cenário*

A primeira etapa para o correto funcionamento da análise automatizada é a calibração do cenário. Essa calibração é utilizada para corrigir a distorção das distâncias medidas em *pixels* em relação às distâncias reais, medidas em km. O algoritmo de rastreamento do *Traffic Intelligence* se baseia em uma matriz homográfica 3x3 para fazer essa conversão. Essa matriz pode ser obtida pelo *script* “*compute-homography*” incluído no repositório do *Traffic Intelligence*.

Para utilizar o *script*, são necessários: um *frame* da imagem do vídeo analisado, uma imagem aérea da região do vídeo e a medida da unidade de distância (metros) por *pixel* da imagem aérea. Em ambas as imagens são marcados pelo menos 4 pontos. Por exemplo, supondo que a Figura 4.4(a) corresponda à imagem do vídeo e a Figura 4.4(b) à imagem aérea utilizada para calibração. O pesquisador irá rodar o comando do *script* e aparece

em sua tela a imagem à esquerda para marcação dos 4 pontos. Em seguida, aparecerá em sua tela a imagem à direita e devem ser marcados os pontos correspondentes na imagem aérea, na mesma ordem. Por fim, são calculadas as correspondências e distorções da imagem do vídeo a ser analisado.



(a) Exemplo de imagem do vídeo



(b) Exemplo de imagem aérea

Figura 4.4 Exemplo de imagem para calibração do cenário

Não existe limite máximo de pontos a serem usados como referência. É importante escolher pontos que abranjam toda a área de interesse para melhores resultados. O *script* retorna um arquivo em formato .txt com a matriz homográfica do cenário.

ii. *Rastreamento de trajetórias*

O rastreamento de trajetória é feito utilizando o método de detecção de características e posterior agrupamento dessas características para caracterização de objetos – no caso, usuários da via.

O algoritmo desenvolvido foi escrito a partir de duas funções de *OpenCV*: *goodFeaturesToTrack* e *calcOpticalFlowPyrLK*. O algoritmo faz detecção de linhas, polígonos e outras características veiculares tais como retrovisores e pneus e acompanha a trajetória dessas características ao longo dos *frames* do vídeo. Posteriormente, o módulo de agrupamento do algoritmo junta características que seguem o mesmo padrão de velocidade e percurso em um mesmo objeto, resultando na identificação tanto dos objetos quanto de suas trajetórias.

Para rastreamento de trajetórias, é preciso um arquivo de configuração contendo as informações do vídeo a ser rastreado. Os parâmetros principais do arquivo de configuração, além do vídeo de base (em formato .avi ou .mp4) e da matriz homográfica (em formato .txt) são a qualidade das características, a distância mínima entre as características, o tamanho da janela, e o deslocamento mínimo para identificação de trajetória. Todas essas características, além de outras acessórias, são providenciadas em

um arquivo modelo no repositório e podem ser utilizadas como “*default*” e alteradas conforme necessidade do pesquisador. Recomenda-se a repetição iterativa do rastreamento de características e objetos para melhorar a qualidade dos parâmetros de configuração.

Os resultados são salvos em uma base de dados em formato .sqlite que contém quatro informações principais: os objetos, as trajetórias, as posições e as velocidades. Além disso, o rastreamento de cada objeto ou característica pode ser visualizado utilizando *script python* específico para esse fim.

iii. *Limitações*

Dois fatores de potencial distorção de imagem não foram corrigidos nesse estudo de caso: a distorção de angulação causada pela lente de filmagem e a vibração da câmera causada pela interferência do vento. A distorção causada pela lente é corrigida usando os parâmetros intrínsecos e extrínsecos da câmera utilizada, conforme tutorial de utilização do *software*. Essa etapa não é obrigatória, porém o nível de precisão para cálculo de distâncias e da correspondência no espaço real tende a ser menor quando não feita a correção de distorção, especialmente nas bordas da imagem. Utilizar somente o espaço mais central para análise pode dirimir o erro.

A distorção causada pela interferência do vento na captura de imagens, que causa vibrações perceptíveis na filmagem, não é explicitamente mencionada nos tutoriais usados pelo *software*. Seria necessário um estudo mais aprofundado da construção do código usado para construção do *software* para confirmar se há uma etapa de correção desse erro, que foge do escopo a ser abordado por essa dissertação.

4.2.4 Identificação automatizada de conflitos

A identificação de ocorrência de conflitos é realizada por meio do *script* “*safety-analysis.py*” disponibilizado no repositório do *software Traffic Intelligence* (2022). A análise de segurança é feita por duas etapas principais, as quais são: o cálculo de previsão de trajetória e o cálculo de indicadores de segurança.

A previsão de trajetória calcula as distribuições de aceleração e manobra, e uma função de previsão de movimento para projetar a posição do objeto nos *frames* seguintes. A função de previsão de movimento pode usar um dentre seis métodos: (i) *Constant Velocity Direct Prediction Parameters* – “*cvd*”, que usa velocidade constante e computação do

ponto de interseção por extrapolação do movimento; (ii) *Constant Velocity Exact Prediction Parameters* – “cve”, que usa velocidade constante e computação do ponto de interseção por equação; (iii) *Constant Prediction Parameters* – “cv”, que usa velocidade máxima prevista; (iv) *Normal Adaptation Prediction Parameters* – “na”, que usa a distribuição normal de aceleração e manobra do objeto para projetar a trajetória; (v) *Point Set Prediction Parameters* – “ps”, que estima a probabilidade de cada posição por característica rastreada pela continuidade do movimento rastreado; ou (vi) *Prototype Database Parameters* - “mp”, que projeta a trajetória a partir de uma database de protótipos. Recomenda-se, quando há geração de resultados semelhantes para os parâmetros calculados, que cada método seja testado para identificar a melhor opção caso a caso. No entanto, alguns modelos podem ser mais ou menos eficientes computacionalmente, resultando em maior ou menor tempo de processamento, e que pode inclusive inviabilizar o uso de algum deles.

Para esse trabalho, todos esses métodos foram testados, exceto o “mp”, pois não houve estudo de um arquivo de protótipos para as circunstâncias específicas dessa pesquisa. O primeiro método, “cvd”, apresentou erro ao rodar, pois o código estava escrito para uma classe de objetos diferente dos objetos salvos. Os métodos não baseados em velocidade constante, “na” e “ps”, mostraram-se impraticáveis por demandarem demasiado tempo de processamento, na ordem de vários dias de processamento para menos de uma hora de vídeo, enquanto os métodos baseados em velocidade constante retornavam os valores de indicadores de conflito em menos de uma hora. Além disso, como “cve” e “cv” apresentaram resultados bastante semelhantes, porém, enquanto o “cv” apresentou valores arredondados para 0 casas decimais para todos os indicadores, o método “cve” apresentou valores calculados até a décima casa decimal para o indicador TTC. O método “cve” foi enfim escolhido para a projeção de trajetória.

Usando a trajetória projetada, o *script* computa, para cada par de objetos em interação, os indicadores 0 a 5 da Tabela 4.2, *frame a frame*. Dois objetos são considerados em interação quando aparecem simultaneamente na cena, independente da probabilidade de colisão. Se a projeção de trajetória para cada par resultar em probabilidade de colisão maior que zero, são computados os indicadores 6 e 7, ou seja, probabilidade de colisão e *Time To Collision* (TTC). Caso o pesquisador opte pelo cálculo do indicador *Post Encroachment Time* (PET), o programa adiciona a computação dos indicadores 9 e 10. A

probabilidade de sucesso da ação evasiva (indicador 8) ainda está em desenvolvimento e não é utilizada pelo *script*.

Tabela 4.2 Lista de indicadores

| Índice | Indicador | Unidade |
|--------|--|---------|
| 0 | Produto das Rotas de Colisão (<i>Collision Course Dot Product</i>) | - |
| 1 | Ângulo entre Rotas de Colisão (<i>Collision Course Angle</i>) | rad |
| 2 | Distância (<i>Distance</i>) | m |
| 3 | Distância mínima (<i>Minimum Distance</i>) | m |
| 4 | Ângulo entre Vetores de Velocidade (<i>Velocity Angle</i>) | rad |
| 5 | Diferença entre Velocidades (<i>Speed Differential</i>) | km/h |
| 6 | Probabilidade de Colisão (<i>Collision Probability</i>) | - |
| 7 | Tempo para Colisão (<i>Time To Collision</i>) | s |
| 8 | Probabilidade de Sucesso da Ação Evasiva (<i>Probability of Successful Evasive Action</i>) | - |
| 9 | Tempo Previsto Após Cruzamento (<i>predicted Post Encroachment Time</i>) | s |
| 10 | Tempo Após Cruzamento (<i>Post Encroachment Time</i>) | s |

Ao processar, os dados são salvos em duas tabelas acrescentadas à base *Sqlite*: *Interactions* e *Indicators*. A primeira tabela, *Interactions*, delimita apenas o intervalo de tempo, em *frames*, em que dois objetos aparecem simultaneamente no vídeo. A segunda, *Indicators*, computa o cálculo de cada indicador por *frame* em que há uma interação. A Tabela 4.3 e a Tabela 4.4 trazem exemplos deste cálculo. Cabe ao pesquisador fazer a seleção de quais dados utilizar em sua análise.

Tabela 4.3 Exemplo de retorno da tabela "*interactions*"

| id | object_id1 | object_id2 | first_frame_number | last_frame_number |
|-----|------------|------------|--------------------|-------------------|
| 209 | 25 | 17 | 341 | 343 |

Tabela 4.4 Exemplo de retorno para tabela "*indicators*"

| interaction_id | indicator_type | frame_number | Value |
|----------------|----------------|--------------|-------------------|
| 209 | 0 | 341 | 21.4018404589056 |
| 209 | 0 | 342 | 20.5418718439278 |
| 209 | 0 | 343 | 20.5386999004592 |
| 209 | 1 | 341 | 0.394031834071499 |
| 209 | 1 | 342 | 0.403739998259722 |
| 209 | 1 | 343 | 0.402978538467522 |
| 209 | 2 | 341 | 39.5225028664016 |
| 209 | 2 | 342 | 39.0822267992043 |
| 209 | 2 | 343 | 38.9573461111152 |
| 209 | 3 | 341 | 38.7504610935147 |
| 209 | 3 | 342 | 38.2172962460716 |
| 209 | 3 | 343 | 38.6265478737099 |
| 209 | 4 | 341 | 2.82809781052405 |
| 209 | 4 | 342 | 2.80249279495285 |
| 209 | 4 | 343 | 2.81077628377008 |
| 209 | 5 | 341 | 0.586450739792742 |
| 209 | 5 | 342 | 0.57156106192987 |
| 209 | 5 | 343 | 0.573118433423916 |

4.3 LOCAL 01: EPNB001

4.3.1 Caracterização da geometria e do fluxo de veículos

O primeiro local de análise, aqui chamado de “EPNB001” com o intuito de facilitar o reconhecimento, é um trecho de entroncamento e retorno da via Estrada Parque do Contorno, ou DF-001. Nesse segmento, o trecho rodoviário se sobrepõe à Estrada Parque Núcleo Bandeirante, ou DF-075. A Figura 4.5 e a Figura 4.6 trazem, respectivamente, uma imagem aérea do trecho analisado e a imagem vista pela câmera de monitoramento de trânsito, cuja imagem foi disponibilizada pelo DER.

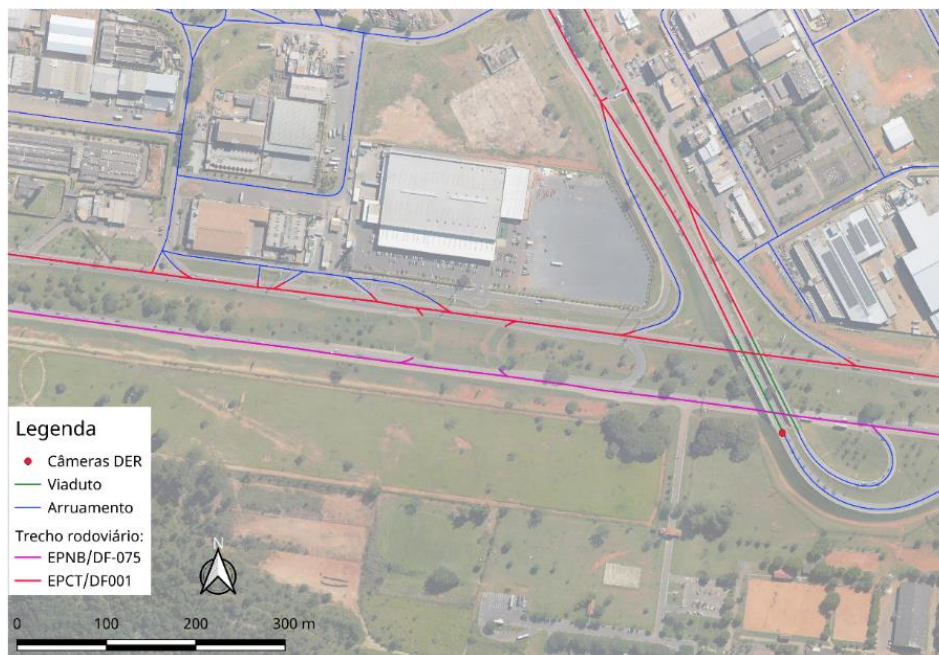


Figura 4.5 Representação aérea do Local 01 (EPNB001)



Figura 4.6 Imagem do Local 01 capturada pela câmera de monitoramento de trânsito do DER

O volume de tráfego é de aproximadamente 3.000 veículos por hora. A maior parte do fluxo trafega continuamente na EPNB. Apesar da saída do retorno à esquerda estar muito distante para ser observada pelo vídeo, mas é possível deduzir esse movimento, pelo tamanho da fila que se forma na faixa mais à esquerda. A menor parcela de fluxo entra na via EPNB pelo entroncamento à direita ou sai pela direita. A maior proporção de veículos presentes é de automóveis, mas existe também uma grande parcela de motocicletas e veículos pesados, como ônibus ou caminhões. São poucas as passagens de ciclistas e pedestres no trecho, cujo tráfego é de fato voltado para veículos automotores. A via EPNB é uma via arterial urbana quase totalmente segmentada em relação ao trânsito local.

Nessa região, especificamente, não há local destinado à passagem de pedestres. Ao lado direito da via existem dois supermercados atacadistas, que configuram polos de atração de demanda. Do lado esquerdo da via fica o Regimento de Polícia Montada da Polícia Militar do Distrito Federal. As faixas de pedestre mais próximas ficam a aproximadamente 800m de distância no sentido leste, em direção ao Riacho Fundo, e a 1.200 m de distância no sentido oeste, em direção ao Setor G Sul de Taguatinga.

A Figura 4.7 ilustra o número de veículos que atravessam a via para cada intervalo contabilizado, enquanto as Tabelas 4.5 e 4.6 trazem respectivamente, a composição percentual do tipo de veículo que compõem o fluxo, e dos acessos e saídas utilizados no trecho observado.

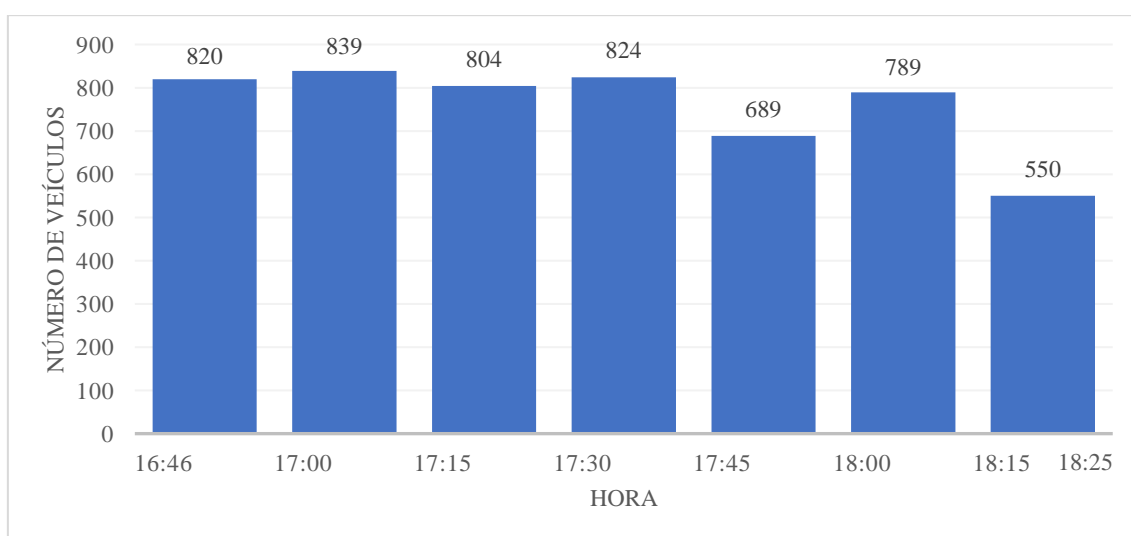


Figura 4.7 Contagem do fluxo de veículos para o Local 01

Tabela 4.5 Composição percentual do tráfego no Local 01 por tipo de veículo

| Tipo de veículo | Motocicleta | Carro | Ônibus | Caminhão |
|---------------------|-------------|-------|--------|----------|
| Composição por tipo | 15,4% | 74,1% | 4,3% | 6,2% |

Tabela 4.6 Composição percentual do tráfego no Local 01 por acesso e saída

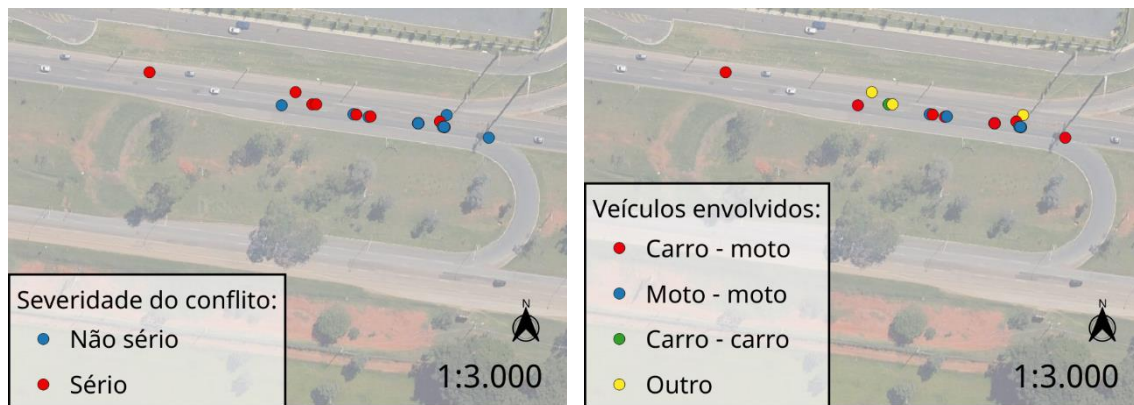
| | Segmento | Volume em percentual |
|----------------|--------------------------|----------------------|
| Entrada | Entroncamento à esquerda | 2,5% |
| | EPNB | 89,7% |
| | Entroncamento à direita | 7,9% |
| Saída | Saída à direita | 25,0% |
| | EPNB | 75,0% |

4.3.2 Identificação manual de potenciais conflitos

No Local 1 foram observados 26 potenciais conflitos durante aproximadamente 1h30min de análise. A observação foi feita do início da filmagem, às 16h46min, até as 18h25min34s, quando houve uma falha na captura de imagem que ficou em escala de preto e branco, dificultando a visualização, que já havia sido prejudicada pelo cair da noite, próximo às 18h. Interações que envolveram frenagem ou desvio pela interferência de veículos realizadas de maneira controlada não foram consideradas como potenciais conflitos, pois era possível observar o entrave na via com antecedência e calcular uma mudança de rota de maneira segura.

Dos 26 potenciais conflitos observados, três foram considerados ações preventivas por apresentarem TTC maior que 4 segundos. Dos demais, 10 foram classificados como “conflitos sérios” (ver Figura 4.2) e, destes, três envolviam a mesma interação, em que um carro ocupa o espaço entre a faixa do central e a faixa mais à esquerda, buscando chegar no retorno, e três motociclistas que trafegavam no espaço entre as faixas que precisam frear de maneira brusca para prevenir a colisão. Mesmo entre os conflitos não sérios, os conflitos entre veículos que ocupavam o espaço entre faixas para fazer uma mudança de faixa e motociclistas que trafegavam nessa região, se destacaram.

A Figura 4.8 apresenta os conflitos identificados por: (a) severidade; (b) usuários envolvidos e (c) mapa de calor.



(a) Classificação por severidade

(b) Classificação por usuário



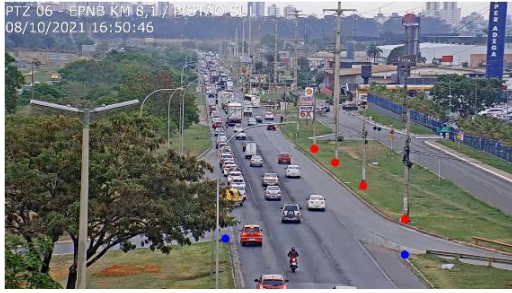
(c) Mapa de calor

Figura 4.8 Conflitos identificados manualmente

A observação deste local foi prejudicada pela qualidade da filmagem, especialmente para a identificação de motociclistas e ciclistas que, quando trafegavam a distâncias curtas uns dos outros, eram difíceis de serem distintos; pela dificuldade de se observar marcações claras na via para demarcar a posição que o veículo se encontrava segundo a segundo; pela angulação da câmera, que também dificultou a identificação do espaço percorrido por cada veículo segundo a segundo; e, principalmente, pelas condições de luminosidade do local, que apresentaram uma piora significativa durante a noite.

4.3.3 Rastreamento de veículos com ferramenta automatizada

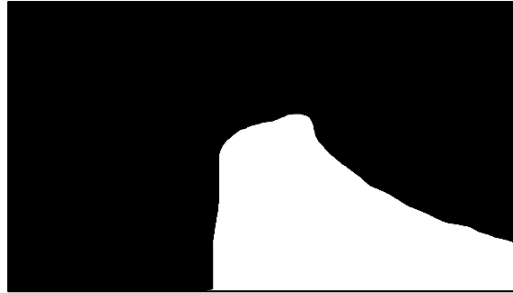
A etapa de calibração foi feita com a Figura 4.6 e uma imagem aérea obtida pelo *software QGis*. As Figuras 4.9(a) e (b) mostram os pontos de referência utilizados para o *frame* e a imagem aérea, respectivamente, e a Figura 4.9(c) mostra o espaço de máscara ao qual se restringiu o rastreamento.



(a) Imagem capturada pelo DER com pontos de referência



(b) Imagem aérea com pontos de referência



(c) Máscara

Figura 4.9 Imagens usadas para calibração e rastreamento

Durante a etapa de otimização da identificação de objetos rastreados pela ferramenta automatizada, observou-se que existem diferentes “pontos de ótimo” para combinações dos critérios de agrupamento e segmentação dos objetos. É possível que melhores resultados de rastreamento fossem alcançados caso o processo iterativo de otimização fosse realizado com ferramenta também automatizada de inteligência artificial. Aconselha-se o estudo desse tipo de ferramentas para pesquisas futuras com análise de conflito.

Alguns problemas identificados durante a etapa de otimização de rastreamento tornaram inviável a utilização de ferramenta automatizada para identificação de conflitos no Local 01. Primeiramente, a intervalos irregulares, ocorrem interrupções na sequência de *frames* da filmagem, fazendo com que o rastreamento e identificação de objetos seja descontinuado e, portanto, um mesmo objeto é segmentado em dois objetos, um que vai do início da máscara até um ponto X, quando a gravação trava, e o segundo começa a ser rastreado novamente de um ponto Y até o fim da máscara.

Em segundo lugar, mesmo após um processo de mais de vinte iterações para se obter uma melhor relação das distâncias de conexão e segmentação, o percentual de acerto continuou sendo inferior a 40%. Com esse nível de erro e uma quantidade abundante de veículos segmentados, em especial os automóveis e veículos pesados (caminhões e ônibus), torna-

se impraticável o uso da ferramenta automatizada, que acaba identificando a interação entre as “partes” de carro identificadas como conflitos. Além disso, a identificação errada dos centros geométricos dos veículos aumenta a chance de interações normais serem identificadas como conflituosas e vice-versa. Acredita-se que esse erro seja relacionado ao ângulo de filmagem, uma vez que a distorção de distância é muito grande e as trajetórias de características identificadas se sobrepõem pela proximidade dos veículos em baixas velocidades, especialmente nas faixas mais à esquerda, como ilustrado pela Figura 4.10. Mesmo durante a análise manual, alguns veículos que trafegavam a distâncias pequenas um do outro, especialmente motocicletas, eram difíceis de serem diferenciadas.

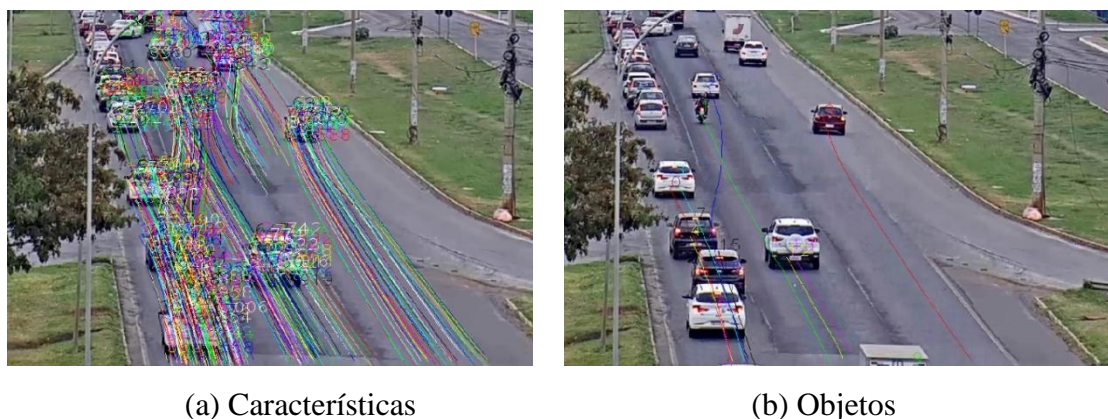


Figura 4.10 Segmento de imagem do rastreamento

A Tabela 4.7 traz o resultado de acerto na identificação de objetos para aproximadamente 2 minutos aleatórios de filmagem. Ressalta-se que o erro na captura de imagens devido a interrupções na gravação, descrito anteriormente, causou a segmentação de vários objetos.

Tabela 4.7 Taxa de acerto do rastreamento automatizado de objetos para o Local 01

| Veículo | Corretos | Segmentados | Agrupados | Não identificados | Total |
|--------------------|-----------------|--------------------|------------------|--------------------------|--------------|
| Automóvel | 37 | 56 | 12 | 2 | 107 |
| Motocicleta | 7 | 1 | 0 | 1 | 9 |
| Caminhões e ônibus | 1 | 6 | 0 | 1 | 8 |
| Total (%) | 36,29 | 50,81 | 9,68 | 3,23 | 124 |

A terceira dificuldade encontrada para o rastreamento automatizado de objetos foi a dificuldade de identificação daqueles que entravam na via pelo entroncamento à esquerda. A copa da árvore à esquerda e o poste de iluminação que “corta” a imagem ao meio causa oclusão quase total dos veículos que passam por trás desses objetos, e esses objetos limitaram a criação da máscara observada pela Figura 4.9, o que dificulta mais ainda a

identificação de conflitos. Portanto, não seria aproveitável a análise de conflitos da filmagem.

A Figura 4.11 traz um exemplo de veículo que entra na via principal pelo entroncamento à esquerda. Além de ficar muito próximo aos limites da máscara, ele entra na parte de rastreamento visual em uma região onde os veículos estão muito próximos uns aos outros, o que dificulta tanto a identificação automatizada quanto a conferência em relação a que trajetória o objeto identificado pertence.

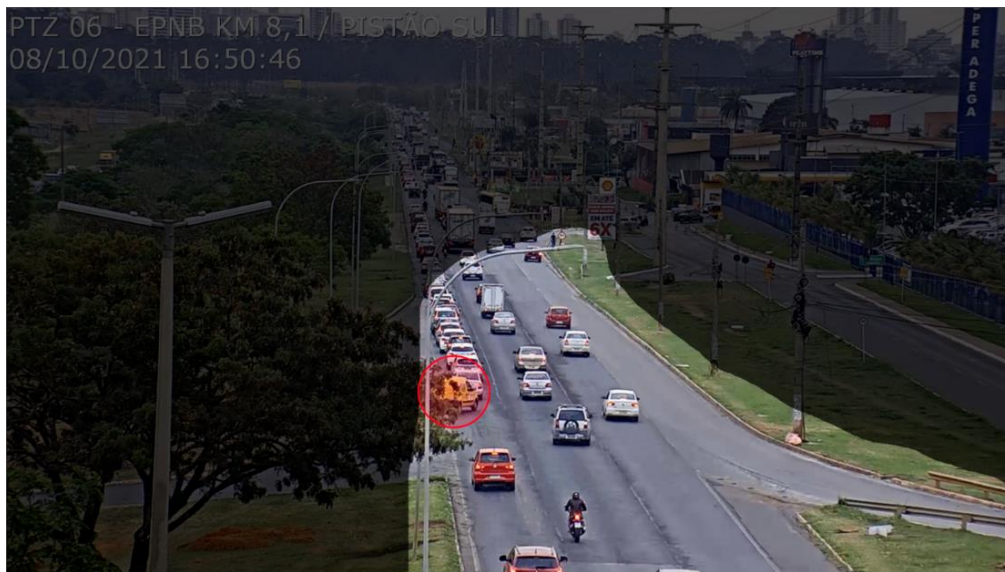


Figura 4.11 *Frame* da filmagem do Local 01 onde é possível ver um veículo entrando na via principal pelo entroncamento à esquerda

4.4 LOCAL 02: EPNB075

4.4.1 Caracterização da geometria e do fluxo de veículos

O segundo local de análise, EPNB075, é um trecho rodoviário com três faixas de rolamento em cada sentido sobre a rodovia Estrada Parque Núcleo Bandeirante, ou DF-075, que atravessa a Região Administrativa Núcleo Bandeirante. A faixa mais à direita da via EPNB é exclusiva para ônibus em dias úteis. No entanto, no trecho cuja visualização é destacada pela gravação do DER (Figura 4.12), é possível ver que a marcação no chão é tracejada e não contínua, indicando que o tráfego por ela é permitido a todos os usuários da via, devido aos acessos à direita.

Na imagem representada pela Figura 4.12, é possível também visualizar um retorno à esquerda, ao fundo da imagem, e um entroncamento à direita. O cruzamento que é percebido na parte inferior da imagem opera no sentido de quem sai da região local do

Núcleo Bandeirante para acessar a rodovia no sentido do Plano Piloto. Esse semáforo, no entanto, é desligado durante dias úteis entre 16h de 21h para favorecer o fluxo no sentido Riacho Fundo, que é o sentido com maior fluxo nesse horário, e aqueles que saem da região do Núcleo Bandeirante e se dirigem ao Plano Piloto ou ao lado norte da cidade devem acessar a rodovia pelo entroncamento à direita e fazer o retorno adiante. A filmagem recebida pelo DER tem início às 17h e possui aproximadamente 3h de duração, portanto, o semáforo permanece desligado durante todos os momentos de captura de imagens.



Figura 4.12 Imagem do Local 02 capturada pela câmera de monitoramento de trânsito do DER

A Figura 4.13 traz uma imagem aérea do local, com destaque para as rodovias vistas na imagem e a localização da câmera de monitoramento.



Figura 4.13 Representação aérea do Local 02 (EPNB075)

A maior parte do fluxo de veículos são automóveis que trafegam na via principal, consistindo em mais de metade do total de veículos que atravessam a região de filmagem. Além disso, o fluxo contínuo na via EPNB é concentrado nas duas faixas à esquerda, com exceção dos ônibus, devido à presença de faixa exclusiva na região, e grande parte dos veículos que acessam a via pelo entroncamento se dirigem ao retorno à esquerda, uma vez que a filmagem foi feita durante o intervalo em que o semáforo que regula o trânsito da região no sentido Plano Piloto está desativado.

A Figura 4.14 ilustra o número de veículos que atravessam a via para cada intervalo contabilizado, enquanto as Tabelas 4.8 e 4.9 trazem a composição percentual, respectivamente, do tipo de veículo que compõem o fluxo, e dos acessos e saídas utilizados no trecho observado.

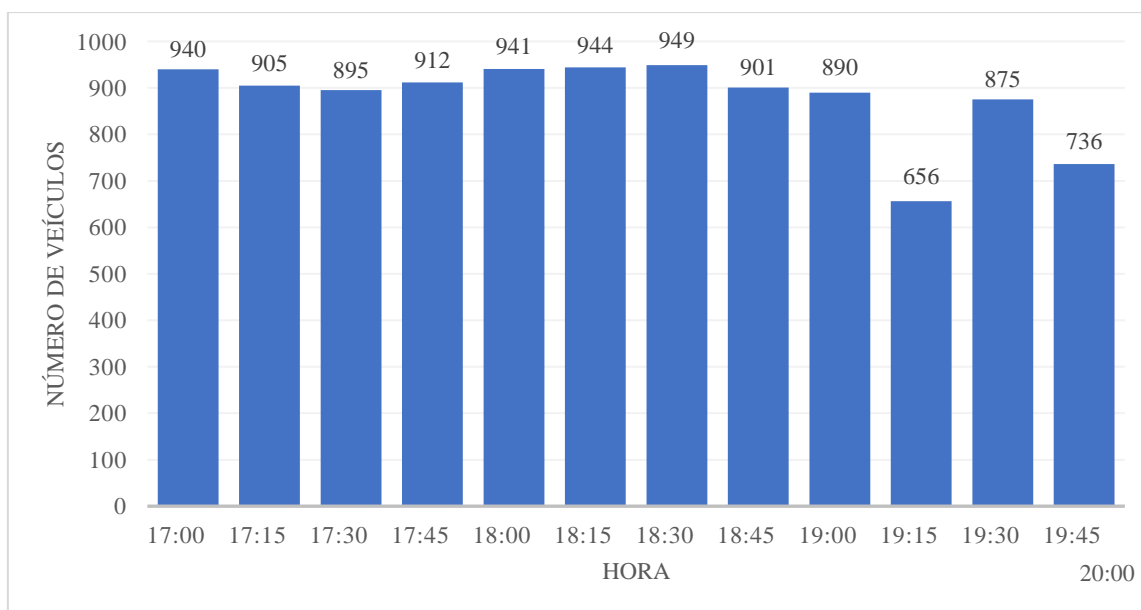


Figura 4.14 Contagem do fluxo de veículos para o Local 02

Tabela 4.8 Composição percentual do tráfego no Local 02 por tipo de veículo

| Tipo de veículo | Motocicleta | Carro | Ônibus | Caminhão |
|---------------------|-------------|-------|--------|----------|
| Composição por tipo | 14,4% | 79,1% | 3,4% | 3,1% |

Tabela 4.9 Composição percentual do tráfego no Local 02 por acesso

| Acesso | EPNB | Entroncamento à direita |
|------------|-------|-------------------------|
| Percentual | 86,1% | 13,9% |

4.4.2 Identificação manual de potenciais conflitos

No Local 2 foram observados 19 potenciais conflitos durante as 3 horas de gravação disponibilizadas pelo DER. A partir de aproximadamente 18h30, momento em que o céu fica bastante escuro, a percepção da distância entre os veículos é prejudicada pela sobreposição das luzes dos faróis de cada veículo. Além disso, por volta de 19h o volume reduz bastante, o que dá aos usuários da via mais espaço para realizarem manobras seguras. Dos 19 potenciais conflitos observados, 17 ocorreram entre 17h e 19h, e apenas 2 após as 19h.

Quatro conflitos foram retirados da análise durante a classificação de severidade: três por apresentarem valor de TTC acima de 4,0s, e um por não ser possível acompanhar o percurso dos veículos envolvidos pois um caminhão obstrui a visibilidade no momento em que ocorre o potencial conflito. Dos demais, oito foram classificados como conflitos sérios, e 5 foram conflitos entre carros e motociclistas. Todos os conflitos identificados, sérios e não sérios, envolviam pelo menos um veículo em mudança de faixa, seja buscando acessar o retorno à esquerda ou a marginal à direita.

A Figura 4.15 traz a distribuição espacial aproximada dos veículos observados, sendo: (a) conflitos classificados por severidade, (b) conflitos por veículo envolvido, e (c) mapa de calor.

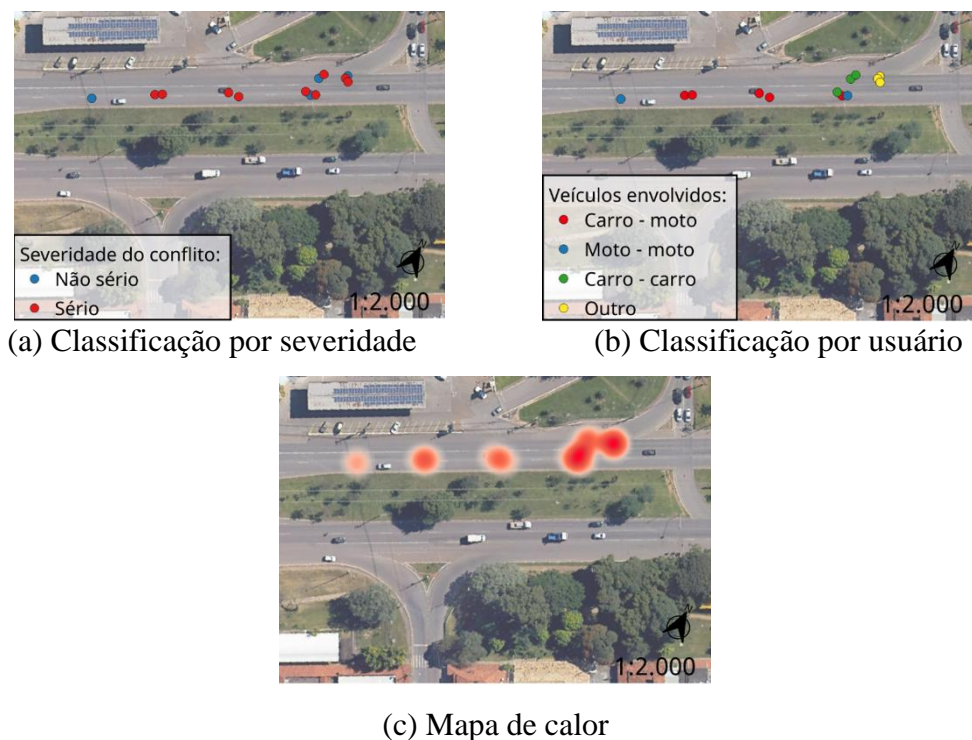


Figura 4.15 Distribuição espacial dos potenciais conflitos identificados no Local 02

4.4.3 Rastreamento de veículos com ferramenta automatizada

A Figura 4.16 traz as imagens usadas para calibração e rastreamento com ferramenta automatizada, sendo: (a) imagem aérea utilizada para fazer a calibração das distâncias em conjunto com a imagem da Figura 4.12; (b) correspondência de pontos entre *frame* da gravação utilizado e imagem aérea; e (c) máscara usada para definir região de análise.



(a) Imagem aérea do local



(b) Imagem capturada pelo DER com pontos de referência



(c) Máscara

Figura 4.16 Imagens do Local 02 utilizadas durante a etapa de rastreamento automatizado de objetos

Inicialmente, foi planejado utilizar uma máscara cobrindo região mais extensa da via, até próximo ao retorno à esquerda. No entanto, foi observado distorções excessivas no cálculo de distâncias entre veículos, provavelmente porque a angulação e qualidade da imagem captada pela câmera do DER não permitiu a identificação adequada de pontos de referência para fazer a correspondência com a imagem aérea e a calibração. Assim, a análise foi restrita para os primeiros aproximadamente 60 metros da via. Como a maior parte dos potenciais conflitos identificados foram na região do entroncamento à direita, ponderou-se que ainda seria possível fazer comparações entre a identificação automatizada e manual de conflitos.

Após reiteradas iterações para encontrar os pontos de ótimo das distâncias em *pixels* de conexão e segmentação para uso do rastreador, o melhor resultado encontrado foi de aproximadamente 70% de acerto. Para a otimização, foram utilizados os primeiros 95 segundos de filmagem. A taxa de *frames* por segundo da filmagem foi identificada como sendo aproximadamente 7,06 *fps*. A Tabela 4.10 detalha os veículos encontrados corretamente, segmentados, agrupados e não identificados para o trecho em questão.

Tabela 4.10 Taxa de acerto na identificação de veículos por visão computacional para o Local 02

| Veículo | Corretos | Segmentados | Agrupados | Não identificados | Total |
|--------------------|-----------------|--------------------|------------------|--------------------------|--------------|
| Automóvel | 65 | 6 | 10 | 1 | 82 |
| Motocicleta | 13 | 0 | 1 | 4 | 18 |
| Caminhões e ônibus | 3 | 4 | 0 | 1 | 8 |
| Total (%) | 75,00 | 9,35 | 10,28 | 5,61 | 108 |

4.4.4 Identificação automatizada de conflitos

O percentual de acerto encontrado foi motivador para rodar a análise automatizada de conflitos. No entanto, a decisão de quais parâmetros de suavização e qual limiar para definição de um conflito ainda não é uniforme na Literatura, conforme discutido no Capítulo 3. Além disso, a distorção de imagem causada pela angulação da câmera de monitoramento de trânsito induz o observador manual a erro quanto à real distância entre os veículos. Antes de delimitar quais os parâmetros a serem usados, portanto, optou-se por quantificar quantas trajetórias são consideradas conflitantes para diferentes limiares dos dois indicadores de conflito possíveis de serem aplicados – TTC e PET – e considerando quantidades distintas de *frames* (5, 7 e 11) para suavização dos valores de conflito identificados. Essa suavização é feita para amenizar efeitos causados por distorções da imagem e do algoritmo. Zheng *et al.* (2018), por exemplo, utilizam a última sequência de 10 *frames* para definir o valor “real” de TTC.

Os valores resultantes estão definidos na Tabela 4.11. A coluna “Limite” indica o limite acima do qual o valor de TTC seria desconsiderado. Em análise prévia, observou-se que restringindo a coleta de dados para valores de TTC menores que 6 segundos ou mais retornavam aproximadamente a mesma quantidade de conflitos, portanto optou-se por manter esse valor como limiar para coleta de dados de modo a reduzir a necessidade de processamento computacional.

Tabela 4.11 Quantidade de conflitos encontrada por limiar e número de *frames* consecutivos

| Limite (s) | PET (s) | 5 frames | | 7 frames | | 11 frames | |
|---------------|------------|----------|-------|----------|-------|-----------|-------|
| | | TTC ≤ | TTC ≤ | TTC ≤ | TTC ≤ | TTC ≤ | TTC ≤ |
| | | 1,5s | 3,0s | 1,5s | 3,0s | 1,5s | 3,0s |
| 6 | 4743 | 284 | 905 | 25 | 558 | 1 | 86 |
| 3 | 2486 | 234 | 284 | 13 | 21 | 0 | 0 |
| 1,5 | 954 | 8 | - | 0 | - | 0 | - |

Diante dos resultados encontrados, optou-se por usar a quantidade de 7 *frames* com medição de $TTC \leq 6s$ para se considerar uma medição válida, e foi feita uma avaliação manual de cada um dos conflitos medidos com valor de $TTC \leq 1,5s$.

Aproximadamente metade dos conflitos identificados foram causados por erros de rastreamento, sejam objetos segmentados ou agrupados. Dos 14 conflitos restantes, 12 consistem na travessia de um motociclista entre as faixas de rolamento, lado a lado com os demais veículos na via, sendo a maioria em região próximo ao fim da máscara. Nenhum dos possíveis conflitos identificados manualmente tiveram proximidade e tendência de trajetória consideradas conflitantes de acordo com o algoritmo de visão computacional utilizado. Esses resultados abrem espaço para alguns questionamentos: a velocidade com que os veículos entram na pista principal pelo entroncamento à direita parece demasiadamente alta, mas a distância para os outros veículos é grande o suficiente para manter o movimento seguro e, portanto, valores altos e seguros de TTC; e o tráfego de motociclistas entre as faixas de rolamento, comum e legal no Brasil, é mensurado como perigoso e insuficiente pelo algoritmo. De fato, muitas vezes a distância lateral entre as motocicletas e automóveis não passa de 1 metro, mas o movimento ainda é percebido como controlado por observadores manuais.

O uso de protótipos para cada tipo de usuário – motocicletas, automóveis, veículos de grande porte, pedestres – poderia contribuir não só para aumentar a acurácia na identificação de objetos, mas também para aumentar a precisão dos indicadores de conflito por proximidade temporal/espacial ao considerar as diferenças de tamanho de cada tipo de usuário (TAGELDIN *et al.*, 2017a).

A Figura 4.17 viabiliza a comparação dos resultados obtidos pela identificação manual e automatizada de conflitos.

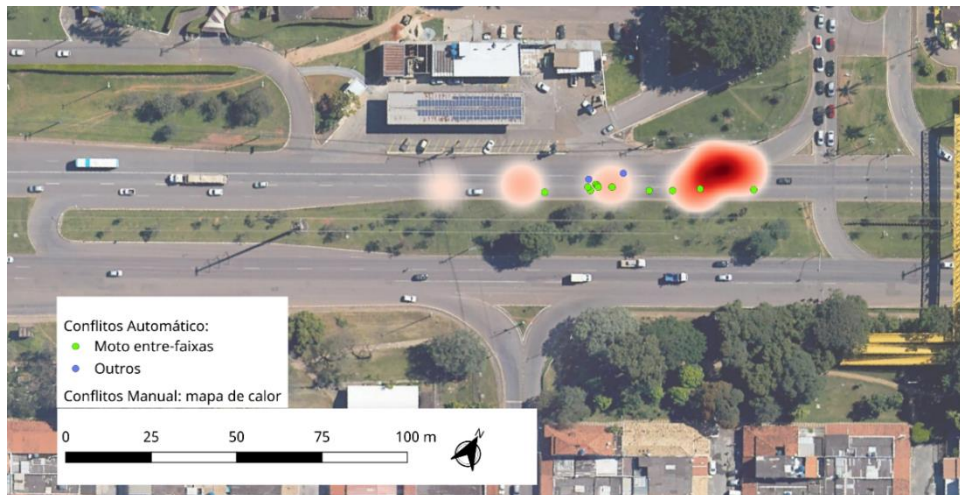


Figura 4.17 Conflitos totais identificados para o Local 02

4.5 LOCAL 03: EPTG

4.5.1 Caracterização da geometria e do fluxo de veículos

O terceiro e último local de análise é a interseção em formato de gota que opera como uma rotatório e conecta a Região Administrativa (RA) de Águas Claras à rodovia Estrada Parque Taguatinga (EPTG), à direita, e à Região Administrativa Vicente Pires, em frente, atravessando viaduto. A bifurcação à direita dá acesso à EPTG no sentido do centro da cidade (Plano Piloto). A Figura 4.18 traz um *frame* aleatório da gravação disponibilizada pelo DER. As referências de entrada e saída foram acrescentadas manualmente na Figura 4.18 para facilitar o entendimento dos movimentos em perspectiva.

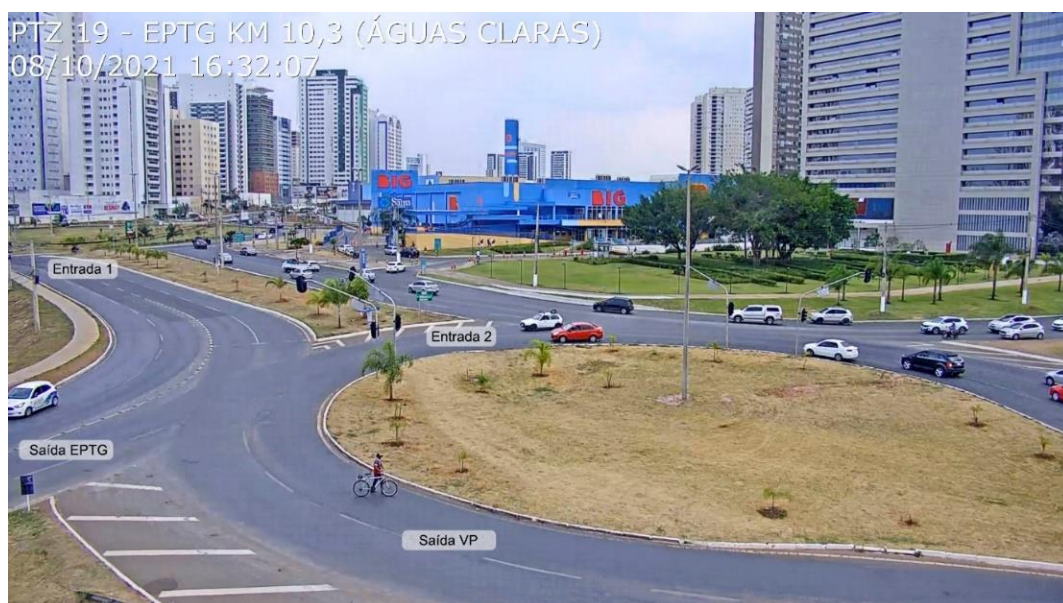


Figura 4.18 Imagem do Local 03 capturada pela câmera de monitoramento de trânsito do DER

Na entrada da RA de Vicente Pires acessada pelas duas faixas à esquerda da interseção existe uma rotatória que dá acesso à EPTG no sentido saída sul da cidade, oposto ao Plano Piloto. A interseção localiza-se em região altamente urbanizada, com acesso a um centro universitário à direita e a um prédio com shopping, *flats* e hipermercado à esquerda. Apesar de haver calçamento para a travessia de pedestres no viaduto, o local indicado para travessia deles são as passarelas localizadas a menos de 500m do viaduto em ambas as direções (Figura 4.19).

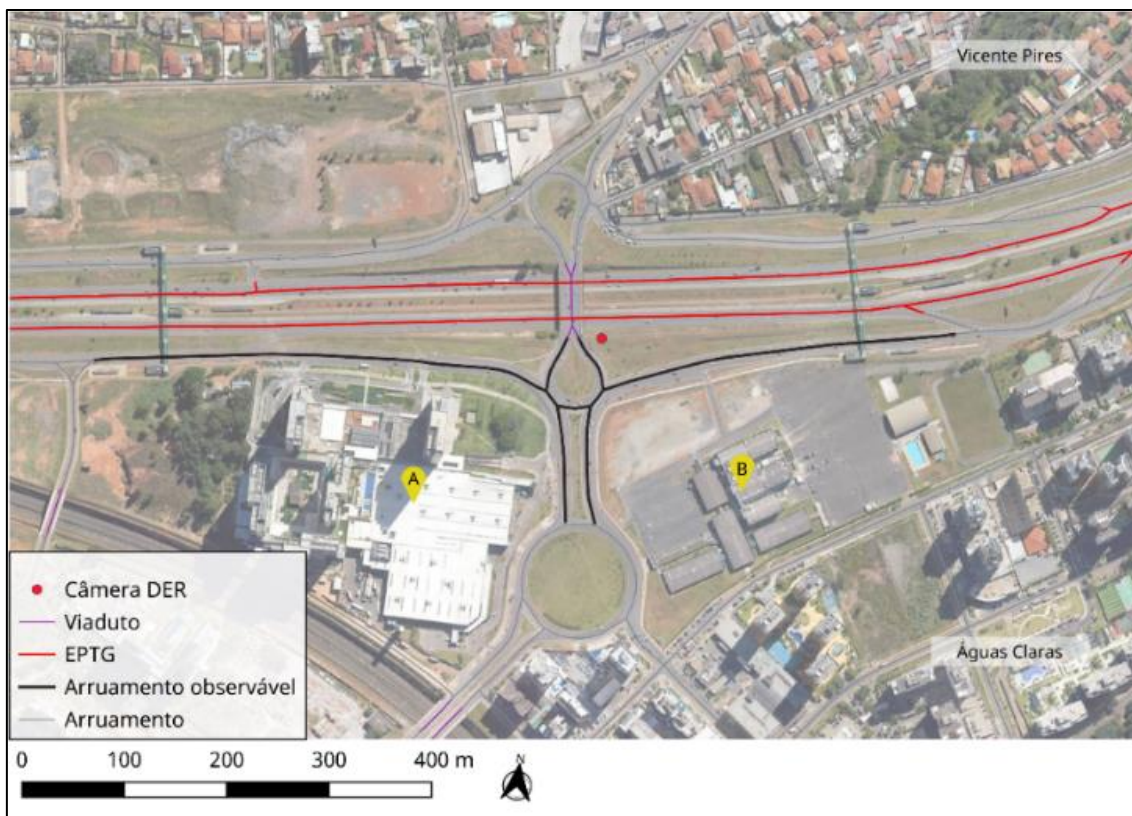


Figura 4.19 Imagem aérea do Local 03, onde o marcador A localiza-se no Águas Claras shopping; e o B no Centro Universitário Unieuro

Na Figura 4.18 é possível visualizar quatro semáforos. O funcionamento dos semáforos é atuado pelo tráfego. Diferentemente dos outros dois locais estudados, o foco da imagem é nas pistas no sentido do contrafluxo para os horários disponibilizados na gravação (16h30 às 19h30), e os semáforos que controlam as entradas estão ambos desativados. Na pista mais distante, em sentido contrário, os semáforos se mantêm em operação. Os veículos se distribuem quase igualmente nas duas saídas, mas quase 2/3 chegam pela Entrada 1 (Figura 4.18). Quase todos os veículos observados foram automóveis. Foram identificados também 15 pedestres durante o intervalo, sendo que 9 destes atravessam

pelas pistas de rolamento, apesar da presença de passarela para pedestre nas proximidades.

A Figura 4.20 ilustra o número de veículos que atravessam a via para cada intervalo contabilizado, enquanto as Tabelas 4.12 e 4.13 trazem a composição percentual, respectivamente, do tipo de veículo que compõem o fluxo, e dos acessos e saídas utilizados no trecho observado.

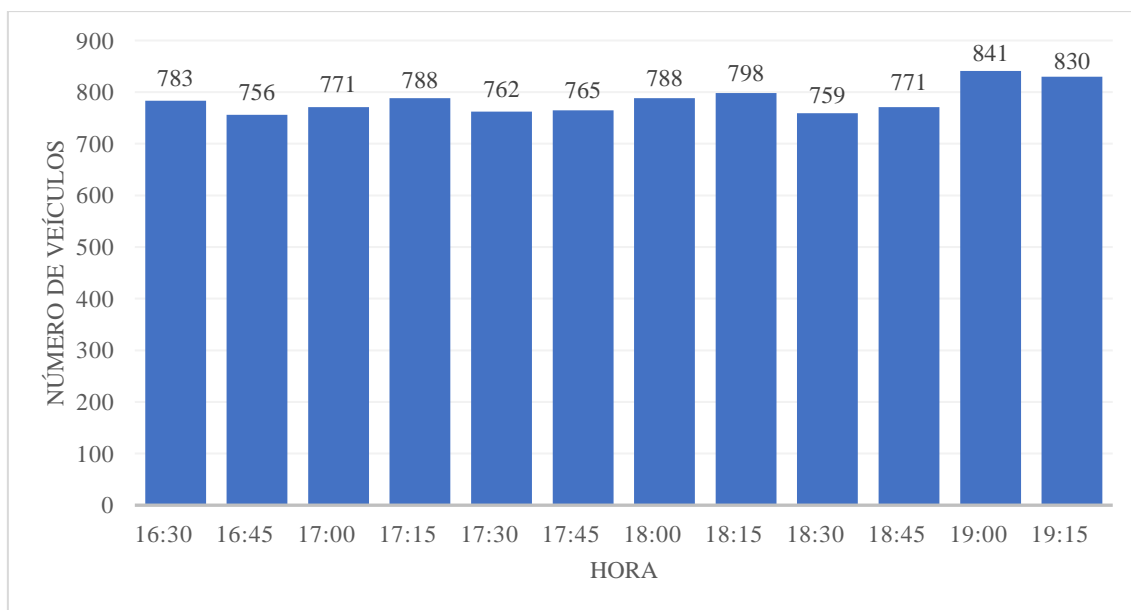


Figura 4.20 Contagem do fluxo de veículos para o Local 02

Tabela 4.12 Composição percentual do tráfego no Local 03 por tipo de veículo

| Tipo de veículo | Motocicleta | Carro | Ônibus | Caminhão |
|---------------------|-------------|-------|--------|----------|
| Composição por tipo | 9,4% | 88,7% | 1,0% | 0,8% |

Tabela 4.13 Composição percentual do tráfego no Local 03 por acesso

| Acesso - Saída | 1 - EPTG | 1 - VP | 2 - EPTG | 2 - VP |
|---------------------|----------|--------|----------|--------|
| Composição por tipo | 21,1% | 37,9% | 30,5% | 10,5% |

4.5.2 Identificação manual de potenciais conflitos

No Local 3 somente dois potenciais conflitos foram identificados durante as três horas de gravação (Figura 4.21). O primeiro foi um conflito entre dois automóveis fazendo o mesmo trajeto (Entrada 1 e Saída EPTG) em que o veículo à frente para repentinamente e o de trás precisa desacelerar para evitar a colisão, classificado como não sério. O segundo, classificado como sério, foi entre um automóvel que acessava a EPTG vindo da rotatória e um ciclista que atravessa a entrada para a EPTG. O ciclista não portava

vestimenta luminescente ou trazia faróis na bicicleta e aparentemente não foi visto pelo motorista, e o primeiro teve de desviar para manter-se em segurança.



(a) Conflito 1



(b) Conflito 2

Figura 4.21 Possíveis conflitos identificados manualmente

Algumas situações de aparente insegurança também foram identificadas, por exemplo, situações em que uma das faixas da região de cruzamento era obstruída por algum veículo e os demais deveriam contorná-lo para seguir sua direção. No entanto, como o critério principal para identificação manual de conflitos escolhido foi a tomada de ação evasiva e não houve identificação de nenhuma mudança brusca de trajetória, considerou-se que os movimentos observados eram apenas preventivos.

4.5.3 Rastreamento de veículos com ferramenta automatizada

A Figura 4.22, na página seguinte, traz as imagens usadas para calibração e rastreamento dos objetos. O percentual de acerto obtido no rastreamento foi semelhante ao encontrado no Local 02, de aproximadamente 75%. A área rastreável possui distância e angulação semelhantes às do Local 02. A Tabela 4.14 mostra os acertos e erros de rastreamento para um trecho de 2 minutos usado para otimização.

Tabela 4.14 Taxa de acerto na identificação de veículos por visão computacional para o Local 03

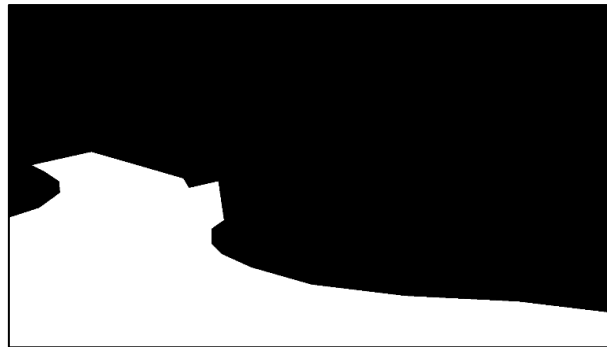
| Veículo | Corretos | Segmentados | Agrupados | Não identificados | Total |
|--------------------|--------------|-------------|--------------|-------------------|------------|
| Automóvel | 71 | 3 | 17 | 4 | 95 |
| Motocicleta | 8 | 0 | 1 | 2 | 11 |
| Caminhões e ônibus | 4 | 1 | 1 | 0 | 6 |
| Total (%) | 74,11 | 3,57 | 16,96 | 5,36 | 112 |



(a) Imagem capturada pelo DER com pontos de referência



(b) Imagem aérea DER com pontos de referência



(c) Máscara

Figura 4.22 Imagens do Local 03 utilizadas durante a etapa de rastreamento automatizado de objetos

4.5.4 Identificação automatizada de conflitos

Usando os mesmos critérios descritos no Item 4.4.4, não foi encontrado nenhum conflito com $TTC \leq 1,5s$ nas 3 horas de vídeo disponibilizadas. De certa forma, o resultado é coerente com a avaliação manual devido à pequena quantidade de potenciais conflitos observados. Dos quatro veículos envolvidos nos potenciais conflitos descritos no Item 0, apenas um foi identificado e, portanto, não foi possível mensurar a proximidade entre os usuários da via usando a ferramenta automatizada.

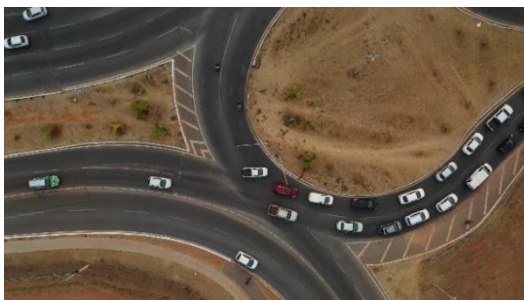
Para se obter melhor compreensão do algoritmo de identificação de conflitos por visão computacional utilizado, foram observados os 10 conflitos com menor valor suavizado. Destes, 6 foram resultado de erros de agrupamento ou segmentação de objetos, e os 4 restantes são situações em que um motociclista trafega entre as faixas de rolamento, situação muito usual no tráfego brasileiro, conforme discutido no Item 4.4.4.

4.6 FILMAGEM COM DRONE

4.6.1 Caracterização da geometria, do fluxo de veículos e das imagens capturadas

O Local 03, a interseção em gota entre Águas Claras e Vicente Pires na rodovia EPTG, foi também gravado usando um drone, com o intuito de se comparar a eficácia e facilidade de uso do algoritmo de visão computacional para rastreamento de objetos e identificação de conflitos com uma imagem aérea. O drone utilizado foi o DJI Mavic 2 Pro com resolução de vídeo de 4K e 30 fps, e cada *take* tem duração aproximada de 15 min, devido à duração da bateria. Além do *take* feito com a câmera paralela ao chão, outros três ângulos foram usados para aferir o quanto influenciariam na acurácia do *software*.

As características do local já foram descritas no Item 4.5.1. Já as características das imagens observadas podem ser vistas pela Figura 4.23, que traz um *frame* de cada *take* feito. Nota-se que não só a angulação foi alterada, quanto também a altura do drone. O *take* 2 buscou-se fazer o mais próximo possível da angulação da própria câmera do DER.



(a) Take 1



(b) Take 2



(c) Take 3



(d) Take 4

Figura 4.23 Frames dos quatro ângulos utilizados para filmagem com drone do Local 03

4.6.2 Identificação manual de potenciais conflitos

Foram identificados no total 5 potenciais conflitos. Dos 5 conflitos identificados, somente um foi considerado potencialmente severo, envolvendo um pedestre, e 4 deles envolviam pelo menos um usuário da via realizando transgressão. Essas transgressões indicam que,

por mais que a geometria da via seja consideravelmente segura tendo em vista a quantidade pequena de conflitos, a distância entre essa região com polos atrativos de demanda e as passarelas para ciclistas e pedestres pode ser superior ao adequado. Além disso, foram observadas transgressões por parte de motoristas que usavam as faixas exclusivas para giro à direita para acessar a saída Vicente Pires (Figura 4.18), e não foi observada sinalização horizontal indicando que as faixas são exclusivas para giro à direita, apesar da presença de tachão refletivo na pista. A Figura 4.24 ilustra a localização e severidade dos conflitos identificados, enquanto na Tabela 4.15 é feita uma breve descrição de cada um deles.

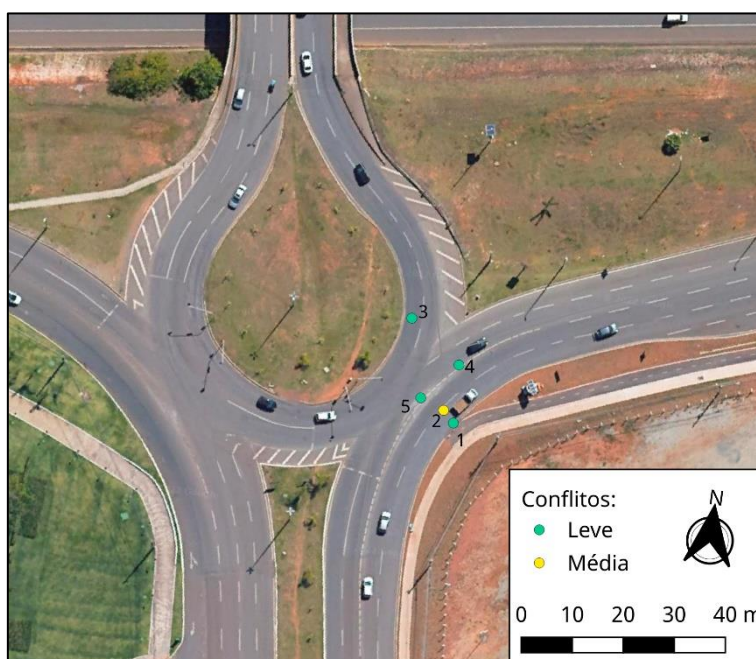


Figura 4.24 Potenciais conflitos identificados manualmente pela gravação via drone do Local 03

Tabela 4.15 Potenciais conflitos identificados manualmente pela gravação via drone do Local 03

| Id | Severidade | Envolvidos | Houve transgressão? |
|-----------|-------------------|---------------------------|--|
| 1 | Não sério | Ciclista - ciclista | Sim, ciclista atravessando a pista fora de local designado |
| 2 | Sério | Pedestre - automóvel | Sim, pedestre atravessando a pista fora de local designado |
| 3 | Não sério | Motocicleta - motocicleta | Não |
| 4 | Não sério | Automóvel - automóvel | Sim, automóvel indo da faixa de giro exclusivo à direita para a saída VP |
| 5 | Não sério | Automóvel - automóvel | Sim, automóvel indo da faixa de giro exclusivo à direita para a saída VP |

4.6.3 Rastreamento de veículos com ferramenta automatizada

Foram observados os pontos de oclusão parcial causados pela presença dos semáforos e postes de iluminação para delimitar a região de análise e construir a máscara para cada *take*. O terceiro *take* foi o que aproveitou a maior região filmada. As quatro máscaras utilizadas são apresentadas na Figura 4.25.

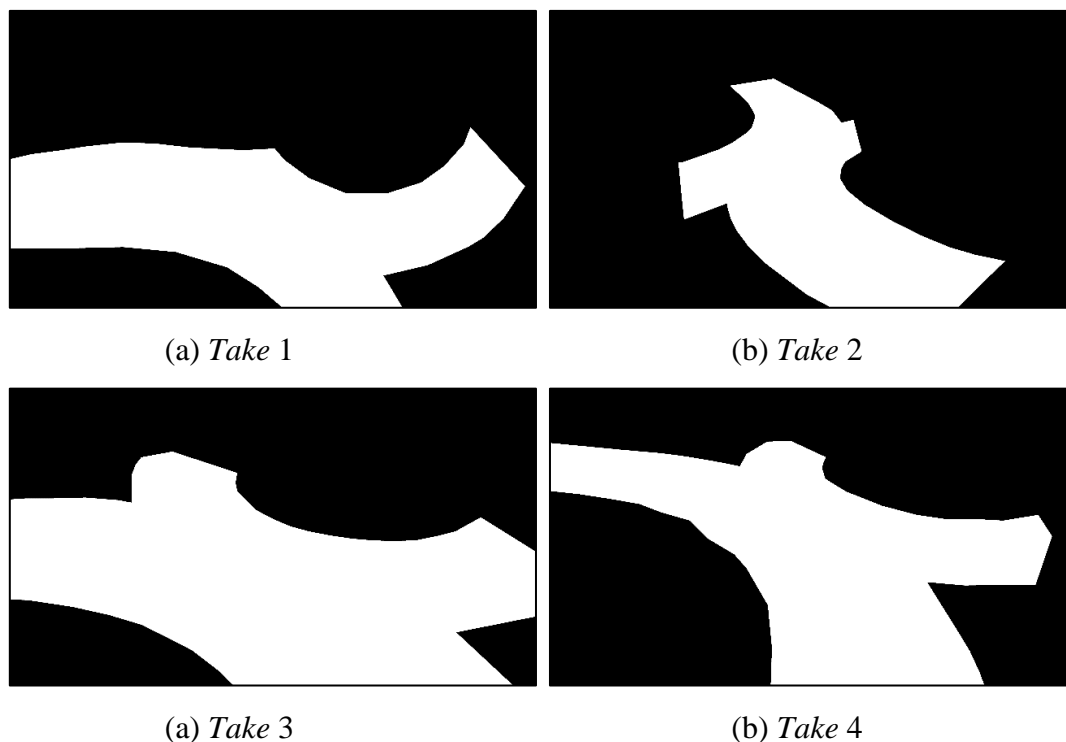


Figura 4.25 Máscaras usadas para delimitação da área de rastreamento das imagens capturadas via drone

Quanto à acurácia do programa, os *takes* 1 e 3 apresentaram os melhores resultados, sendo que no *take* 1, em que a imagem é totalmente paralela ao solo, o acerto na identificação de veículos foi de quase 100%. Os demais apresentaram grau de acerto semelhante ao das filmagens dos Locais 02 e 03 feitas pelo DER. Esse resultado induz ao entendimento de que o ângulo e a distância da filmagem são mais importantes para melhorar a eficácia desse programa de rastreamento por visão computacional que a qualidade da imagem e a taxa de *frames* por segundo. O resultado de nível de acurácia para cada *take* segue descrito nas Tabelas 4.16 a 4.19

Tabela 4.16 Resultado do rastreamento para o *take* 1 via drone

| Veículo | Corretos | Segmentados | Agrupados | Não identificados | Total |
|-----------------------|--------------|-------------|-------------|-------------------|-----------|
| Automóvel | 67 | 0 | 2 | 1 | 70 |
| Motocicleta | 13 | 0 | 0 | 0 | 13 |
| Caminhões e ônibus | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Pedestres e ciclistas | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Total (%) | 96,55 | 0,00 | 2,30 | 1,15 | 87 |

Tabela 4.17 Resultado do rastreamento para o *take 2* via drone

| Veículo | Corretos | Segmentados | Agrupados | Não identificados | Total |
|-----------------------|-----------------|--------------------|------------------|--------------------------|--------------|
| Automóvel | 79 | 0 | 31 | 0 | 110 |
| Motocicleta | 4 | 0 | 2 | 0 | 6 |
| Caminhões e ônibus | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Pedestres e ciclistas | 4 | 0 | 2 | 0 | 6 |
| Total (%) | 71,77 | 0,00 | 28,23 | 0,00 | 124 |

Tabela 4.18 Resultado do rastreamento para o *take 3* via drone

| Veículo | Corretos | Segmentados | Agrupados | Não identificados | Total |
|-----------------------|-----------------|--------------------|------------------|--------------------------|--------------|
| Automóvel | 103 | 0 | 8 | 2 | 113 |
| Motocicleta | 5 | 0 | 2 | 1 | 8 |
| Caminhões e ônibus | 3 | 0 | 2 | 0 | 5 |
| Pedestres e ciclistas | 3 | 0 | 0 | 1 | 4 |
| Total (%) | 87,69 | 0,00 | 9,23 | 3,08 | 130 |

Tabela 4.19 Resultado do rastreamento para o *take 4* via drone

| Veículo | Corretos | Segmentados | Agrupados | Não identificados | Total |
|-----------------------|-----------------|--------------------|------------------|--------------------------|--------------|
| Automóvel | 72 | 18 | 11 | 4 | 105 |
| Motocicleta | 7 | 0 | 0 | 4 | 11 |
| Caminhões e ônibus | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Pedestres e ciclistas | 2 | 0 | 0 | 5 | 7 |
| Total (%) | 65,32 | 14,52 | 9,68 | 10,48 | 124 |

4.6.4 Identificação automatizada de conflitos

Seguindo os mesmos critérios definidos anteriormente pelos Itens 4.4.4 e 4.5.4, não foram identificados conflitos pela ferramenta automatizada. Além disso, as situações de potencial conflito observadas e descritas no Item 4.6.2 foram observadas após o rastreamento usando visão computacional e, em todas as situações, pelo menos um usuário envolvido no conflito em potencial não foi identificado ou teve sua trajetória agrupada com outros veículos, impedindo, assim, o cálculo de TTC e PET para os potenciais conflitos identificados.

4.7 DISCUSSÃO

Para ambas as técnicas utilizadas, manual e por meio de visão computacional, o ângulo e os limites de visualização foram cruciais para permitir ou dificultar a identificação de conflitos.

Na filmagem do Local 03, por exemplo, via-se majoritariamente a parte frontal dos veículos e, portanto, não havia possibilidade de se ver a luz de freio para auxiliar a identificação de frenagem, o que dificultou a identificação manual de potenciais conflitos. No Local 01, a pouca quantidade de elementos de referência e a distância entre a posição

da câmera e o local observado trouxeram dificuldades para acompanhar visualmente a trajetória dos veículos durante a etapa de estimativa de cálculo do TA. Além disso, em ambos os Locais 1 e 2, a visão dos entroncamentos que dão acesso à pista principal era muito limitada, o que prejudicou a estimativa de velocidades para cálculo do TA de alguns conflitos.

A visão limitada dos entroncamentos também foi prejudicial ao rastreamento usando o *software Traffic Intelligence*. Esse problema é intensificado por elementos que ocultam a visão da via, como as árvores no entroncamento à esquerda do Local 01 (Figura 4.6). A distância entre a posição das câmeras e o local visualizado também prejudica o rastreamento automatizado de veículos por ocultar a visão da distância entre veículos, fazendo com que o *software* agrupasse ou não identificasse vários deles, como mostra a Tabela 4.7.

Para a etapa de calibração, quanto mais elementos da via puderem ser relacionados à imagem aérea, melhor será o resultado. Da mesma maneira, a precisão de marcação dos pontos é importante para não criar distorções na matriz homográfica. Para atingir maior precisão, o *software* permite ampliar a imagem utilizada, mas é necessário manter atenção constante para não fazer alguma marcação a mais acidentalmente e criar a necessidade de retrabalho.

O uso do drone se mostrou um facilitador nesse processo, principalmente por permitir uma visualização paralela ao chão, como no *Take 1* de filmagem. Esse ângulo apresentou os melhores resultados de rastreamento (Tabela 4.16) e, na percepção da equipe de pesquisa, não acarretou prejuízo algum na análise manual de conflitos. Essa percepção é limitada ao pequeno intervalo de filmagem e de conflitos identificados durante esse intervalo, e pode ser corroborada em pesquisas futuras.

Por fim, foi observado que os conflitos que foram identificados pelo *software* possuíam frequentemente uma natureza diferente daqueles identificados manualmente. Enquanto pela identificação de ação evasiva foram observados conflitos principalmente entre veículos cujos caminhos se cruzavam, o *software* apontou como conflito várias situações em que um motociclista trafegava entre as faixas de rolamento. Chen *et al.* (2020) propõem 1,0m como distância lateral máxima segura entre motociclistas e outros veículos. Visualmente, no entanto, não foram identificadas ações evasivas em decorrência dessa pequena distância lateral, mostrando que, para o trânsito brasileiro, essa é uma

interação normal. A leniência da legislação brasileira de trânsito e dos usuários da via em geral com motociclistas trafegando entre faixas não é um tema debatido especificamente pela presente dissertação, mas mostra-se como um potencial estudo futuro que pode nortear o estabelecimento de comportamentos mais seguros de trânsito no Brasil.

5 CONCLUSÕES

5.1 DISCUSSÃO E LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Esse trabalho propôs analisar diferentes métodos de coleta de dados de conflito. Além da aplicação em estudo de caso a partir de dados reais de três interseções do Distrito Federal, foi feita uma revisão bibliográfica de diversos estudos de caso publicados em bases de pesquisa indexadas. Observou-se a necessidade de ampliar a pesquisa nesse sentido, comparando as dificuldades na obtenção de dados de conflito a partir de diferentes ferramentas, cada qual podendo se adequar melhor a cenários diferentes.

Durante a etapa de revisão bibliográfica, foi possível concluir que tanto a metodologia empregada quanto o objetivo do estudo influenciam na necessidade de maior ou menor tempo dedicado à coleta de dados. Análises que requerem base de dados extensa, como a modelagem de sinistro ou de funções de performance de segurança a partir de dados de conflito, exigem que uma grande quantidade de dados seja coletada, muitas vezes necessitando do uso de ferramentas de visão computacional para coleta. Estudos de caso voltados à análise da segurança em locais específicos, são mais eficientes quando utilizam dados coletados em dias distintos. Esse procedimento contribui para diminuir a variabilidade aleatória que é natural quando se trata de interações no trânsito.

Durante o estudo de caso, foi possível atestar a dificuldade para aplicação real de estudos de conflito. Ambas as técnicas de coleta utilizadas – análise manual baseada na técnica sueca *Time to Accident* e *software* de visão computacional – demandaram maior tempo de análise do que o esperado durante a proposição metodológica, além de apresentarem nível de falha acentuado. Foi observado que quanto mais paralela ao chão for a captação de imagem de vídeo, melhor será a capacidade de identificação dos conflitos, tanto manualmente, quanto automaticamente. Quando se comparado o uso de imagens captadas pelas câmeras de monitoramento do trânsito e por drone, a eficácia da ferramenta de visão computacional se provou mais dependente do ângulo e distância que da qualidade de imagem. Problemas adicionais com as imagens de câmera de fiscalização foram observados, como a inconstância na taxa de *frames* por segundo e a presença de “*bugs*”, que faziam a imagem saltar de um ponto para outro da imagem, resultando na perda de rastreamento dos objetos previamente identificados. Acredita-se que esses problemas fazem mais diferença no cálculo dos indicadores de conflito que apenas no rastreamento de objetos.

Apesar das dificuldades encontradas, é possível, sim, usar dados de conflito para se fazer análises de segurança viária utilizando as ferramentas adequadas. O drone permitiu uma visão limpa e ampla do local de análise, permitindo inclusive identificar quais ações foram precursoras da ocorrência de conflito, que é uma grande vantagem desse tipo de análise: observa-se o que antecede um momento de perigo, e não apenas suas consequências. Além do mais, como o dado é coletado pelo próprio pesquisador, não há perigo de falta de confiabilidade nessa etapa.

O presente trabalho possui algumas limitações que devem ser destacadas: não houve conferência por parte de especialistas em trânsito dos conflitos identificados manualmente; as imagens capturadas são de intervalos pequenos de tempo e nunca em mais de um dia por local; não foram feitos ajustes na ferramenta para maior adaptação em relação aos dados disponíveis. Esta última limitação foi resultado também da falta de um especialista em computação na equipe, que poderia contribuir para calibração do algoritmo e encontrar melhor taxa de acerto.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Para estudos futuros, recomenda-se:

- Utilizar ferramentas tecnológicas, como redes neurais, para melhorar a etapa de calibração do algoritmo de visão computacional, garantindo um melhor resultado e acelerando esta etapa;
- Comparação da frequência de conflitos com a frequência de sinistros para diferentes localidades do Distrito Federal;
- Comparação dos resultados de conflito no Distrito Federal com locais fora do DF com geometria e fluxo de trânsito semelhantes;
- Utilização de outras ferramentas de visão computacional para captação de dados de conflito, assim como outros indicadores, de modo a se conhecer quais técnicas são mais adequadas para o fluxo local;
- Ampliação da base de dados de filmagem, para se ter uma visão mais abrangente das características de segurança locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, B. L., & SHIN, B. T. (1978) Analysis of Traffic Conflicts and Collisions., 67–74.
- ARUN, A., HAQUE, M. M., BHASKAR, A., & WASHINGTON, S. (2022a) Transferability of multivariate extreme value models for safety assessment by applying artificial intelligence-based video analytics. *Accident Analysis & Prevention*, 170, 106644. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106644>.
- ARUN, A., HAQUE, MD. M., WASHINGTON, S., SAYED, T., & MANNERING, F. (2022b) How many are enough?: Investigating the effectiveness of multiple conflict indicators for crash frequency-by-severity estimation by automated traffic conflict analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 138, 103653. doi:10.1016/J.TRC.2022.103653.
- BAI, L., LIU, P., CHEN, Y., ZHANG, X., & WANG, W. (2013) Comparative analysis of the safety effects of electric bikes at signalized intersections. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 20, 48–54. doi:10.1016/j.trd.2013.02.001.
- BRASIL (2006) Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Manual de estudos de tráfego*. Publicação IPR nº 723, 384p.
- BRASIL (2023a) Ministério dos Transportes. *Registro Nacional de Acidentes e Estatísticas de Trânsito*. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/pt-br/assuntos/transito/arquivos-senatran/docs/renaest>>. Acesso em 5 de julho de 2023.
- BRASIL (2023b) Presidência da República, Casa Civil, Secretaria Especial para Assuntos Jurídicos. *Lei nº 14.599 de 2023*. Altera a Lei nº 5.903, de 23 de setembro de 1997 (Código de Trânsito Brasileiro) e dá outras disposições.
- CAO, Y., YANG, Z. Z., & ZUO, Z. Y. (2016) The effect of curb parking on road capacity and traffic safety. *European Transport Research Review*, 9(1), 4. doi:10.1007/s12544-016-0219-3.
- CGU (2012) Iniciativa: Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão (e-SIC). Secretaria de Prevenção da Corrupção e Informações Estratégicas Controladoria-Geral da União (CGU). Disponível em: <<https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/1071/1/Sistema%20Eletrônico%20do%20Serviço%20de%20Informação%20ao%20Cidadão%20%28e-SIC%29.pdf>>.
- CHAUDHARI, A., GORE, N., ARKATKAR, S., JOSHI, G., & PULUGURTHA, S. (2021) Exploring pedestrian surrogate safety measures by road geometry at midblock crosswalks: A perspective under mixed traffic conditions. *IATSS Research*, 45(1), 87–101. doi:10.1016/j.iatssr.2020.06.001.
- CHAUDHARI, A. R., GORE, N., ARKATKAR, S., JOSHI, G., & PULUGURTHA, S. (2020) Deriving Pedestrian Risk Index by Vehicle Type and Road Geometry at

- Midblock Crosswalks under Heterogeneous Traffic Conditions. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 146(10), 04020123. doi:10.1061/jtepbs.0000421.
- CHEN, A. Y., CHIU, Y. L., HSIEH, M. H., LIN, P. W., & ANGAH, O. (2020) Conflict analytics through the vehicle safety space in mixed traffic flows using UAV image sequences. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 119, 102744. doi:10.1016/J.TRC.2020.102744.
- CHENG, Q., WANG, L., LI, C., JIANG, X., & WANG, W. (2018) A research on traffic conflicts between vehicle and pedestrian on urban typical road section. *Lecture Notes in Electrical Engineering* (Vol. 419, p. 187–195). Springer Verlag. doi:10.1007/978-981-10-3551-7_14.
- COOPER, P. J. (1984) Experience With Traffic Conflicts in Canada with Emphasis on “Post Encroachment Time” Techniques.
- CUNTO, F. J. C., & LOUREIRO, C. F. G. (2011) O uso da microssimulação na avaliação do desempenho da segurança viária. *Transportes*, 19(3), 5. doi:10.14295/transportes.v19i3.527.
- DAVIS, G. A., HOURDOS, J., XIONG, H., & CHATTERJEE, I. (2011) Outline for a causal model of traffic conflicts and crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 43(6), 1907–1919. doi:10.1016/j.aap.2011.05.001.
- EL-BASYOUNY, K., & SAYED, T. (2013) Safety performance functions using traffic conflicts. *Safety Science*, 51(1), 160–164. doi:10.1016/J.SSCI.2012.04.015.
- ESSA, M., & SAYED, T. (2018) Traffic conflict models to evaluate the safety of signalized intersections at the cycle level. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 89, 289–302. doi:10.1016/j.trc.2018.02.014.
- ESSA, M., & SAYED, T. (2019) Full Bayesian conflict-based models for real time safety evaluation of signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 129, 367–381. doi:10.1016/j.aap.2018.09.017.
- EWADH, H. A., & NEHAM, S. S. (2011) Conflict to study safety at four leg-signalised intersections. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport*, 164(4), 221–230. doi:10.1680/tran.7.00055.
- FARAH, H., & AZEVEDO, C. L. (2017) Safety analysis of passing maneuvers using extreme value theory. *IATSS Research*, 41(1), 12–21. doi:10.1016/j.iatssr.2016.07.001.
- FRAMARIM, C. da S. (2003) *Procedimento para monitorar medidas voltadas à redução dos acidentes no sistema viário*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- FYHRI, A., SUNDFØR, H. B., BJØRNSKAU, T., & LAURESHYN, A. (2017) Safety in numbers for cyclists—conclusions from a multidisciplinary study of seasonal change in interplay and conflicts. *Accident Analysis & Prevention*, 105, 124–133. doi:10.1016/J.AAP.2016.04.039.

- GOUDA, M., FAN, J., LUC, K., IBRAHIM, S., & EL-BASYOUNY, K. (2021) Effect of Redesigning Public Shared Space Amid the COVID-19 Pandemic on Physical Distancing and Traffic Safety. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 147(11), 04021077. doi:10.1061/jtepbs.0000596.
- GUIDO, G., VITALE, A., GALLELLI, V., & FIGLIOMENI, G. (2013) Level of Safety on Two-Lane Undivided Rural Highways. *Applied Mechanics and Materials*, 253–255, 1705–1710. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.253-255.1705.
- GUO, Y., SAYED, T., & ZAKI, M. H. (2018) Exploring evasive action-based indicators for PTW conflicts in shared traffic facility environments. *Journal of Transportation Engineering Part A: Systems*, 144(11). doi:10.1061/JTEPBS.0000190.
- GUO, Y., SAYED, T., ZAKI, M. H., & LIU, P. (2016) Safety evaluation of unconventional outside left-turn lane using automated traffic conflict techniques. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 43(7), 631–642. doi:10.1139/cjce-2015-0478.
- HU, Y., LI, Y., HUANG, H., LEE, J., YUAN, C., & ZOU, G. (2022) A high-resolution trajectory data driven method for real-time evaluation of traffic safety. *Accident Analysis & Prevention*, 165, 106503. doi:https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106503.
- HUSSEIN, M., POPESCU, B., SAYED, T., & KIM, L. (2016) Analysis of road user behavior and safety during New York City's Summer Streets Program. *Transportation Research Record*, 2586, 120–130. doi:10.3141/2586-14.
- HUSSEIN, M., SAYED, T., REYAD, P., & KIM, L. (2015) Automated pedestrian safety analysis at a signalized intersection in New York city: Automated data extraction for safety diagnosis and behavioral study. *Transportation Research Record*, 2519, 17–27. doi:10.3141/2519-03.
- HYDÉN, C. (1987) The Swedish Traffic-Conflicts Technique. *International Calibration Study of Traffic Conflict Techniques*. doi:10.1007/978-3-642-82109-7_12.
- IASMIN, H., KOJIMA, A., & KUBOTA, H. (2016) Safety effectiveness of pavement design treatment at intersections: Left turning vehicles and pedestrians on crosswalks. *IATSS Research*, 40(1), 47–55. doi:10.1016/J.IATSSR.2016.04.001.
- JACKSON, S., MIRANDA-MORENO, L. F., ST-AUBIN, P., & SAUNIER, N. (2013) *A Flexible, Mobile Video Camera System and Open Source Video Analysis Software for Road Safety and Behavioural Analysis*.
- JIANG, X., ZHANG, G., ZHOU, Y., XIA, L., & HE, Z. (2017) Safety assessment of signalized intersections with through-movement waiting area in China. *Safety Science*, 95, 28–37. doi:10.1016/j.ssci.2017.01.013.
- JUNGHANS, M., LEICH, A., KOZEMPEL, K., SAUL, H., & KNAKE-LANGHORST, S. (2016) Wide-area based traffic situation detection at an ungated level crossing. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 6(2), 383–393. doi:10.2495/SAFE-V6-N2-383-393.

- KAPARIAS, I., BELL, M., DONG, W., SASTRAWINATA, A., SINGH, A., WANG, X., & MOUNT, B. (2013) Analysis of pedestrian-vehicle traffic conflicts in street designs with elements of shared space. *Transportation Research Record*, (2393), 21–30. doi:10.3141/2393-03.
- KRAAY, J. H., HORST, A. R. A. VAN DER, & OPPE, S. (2013) *Manual conflict observation technique DOCTOR*. Obtido de https://www.ictct.net/wp-content/uploads/SMoS_Library/LIB_Kraay_et_al_2013.pdf.
- KUMAR, A., PAUL, M., & GHOSH, I. (2019) Analysis of Pedestrian Conflict with Right-Turning Vehicles at Signalized Intersections in India. *Journal of Transportation Engineering Part A: Systems*, 145(6). doi:10.1061/JTEPBS.0000239.
- KUMAR, A. & GHOSH, I. (2022) Non-compliance behaviour of pedestrians and the associated conflicts at signalized intersections in India. *Safety Science*, 147, 105604. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105604>.
- LAURESHYN, A., GOEDE, M. D., SAUNIER, N., & FYHRI, A. (2017) Cross-comparison of three surrogate safety methods to diagnose cyclist safety problems at intersections in Norway. *Accident Analysis and Prevention*, 105, 11–20. doi:10.1016/j.aap.2016.04.035.
- LAURESHYN, A., & VARHELYI, A. (2018) *The Swedish Traffic Conflict Technique: observer's manual*. Lund University.
- LE PHAN, V., EVDORIDES, H., BRADFORD, J., & MUMFORD, J. (2016) Motorcycle crash risk models for urban roads. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport*, 169(6), 397–407. doi:10.1680/jtran.15.00075.
- LI, H., ZHONG, X., ZHANG, W., LI, S., & XING, Y. (2020) An algorithm for e-bike equivalents at signalized intersections based on traffic conflict events number. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 134, 78–95. doi:10.1016/J.TRA.2020.02.007.
- MADSEN, T. K. O., & LAHRMANN, H. (2017) Comparison of five bicycle facility designs in signalized intersections using traffic conflict studies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 46, 438–450. doi:10.1016/j.trf.2016.05.008.
- MANAN, M. M., & VÁRHELYI, A. (2015) Motorcyclists' road safety related behavior at access points on primary roads in Malaysia – A case study. *Safety Science*, 77, 80–94. doi:10.1016/J.SSCI.2015.03.012.
- MAO, Y., WANG, W., DING, C., GUO, W., JIANG, X., BAUMANN, M., & WETS, G. (2018) A measurement to driving situation awareness in signalized intersections. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62, 739–747. doi:10.1016/j.trd.2018.05.001.
- MEEL, I. P., BRANNOLTE, U., SATIRASETTHAVEE, D., & KANITPONG, K. (2017) Safety impact of application of auxiliary lanes at downstream locations of Thai U-turns. *IATSS Research*, 41(1), 1–11. doi:10.1016/j.iatssr.2016.06.002.

- MEEL, I. P., SATIRASETHHAVEE, D., KANITPONG, K., & TANEERANANON, P. (2016) Using Czech TCT to assess safety impact of deceleration lane at Thai U-turns. *Engineering Journal*, 20(1), 121–135. doi:10.4186/ej.2016.20.1.121.
- MOHAYMANY, A. S., KASHANI, A. T., & SHAHRI, M. (2015) Evaluation of overtaking manoeuvres on two-lane rural roads. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport*, 168(6), 523–531. doi:10.1680/jtran.13.00066.
- OLSZEWSKI, P., DĄBKOWSKI, P., SZAGAŁA, P., CZAJEWSKI, W., & BUTTLER, I. (2020) Surrogate safety indicator for unsignalised pedestrian crossings. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 70, 25–36. doi:10.1016/J.TRF.2020.02.011.
- ORSINI, F., GECHELE, G., ROSSI, R., & GASTALDI, M. (2021) A conflict-based approach for real-time road safety analysis: Comparative evaluation with crash-based models. *Accident Analysis & Prevention*, 161, 106382. doi:10.1016/J.AAP.2021.106382
- PIN, C., SAYED, T., & ZAKI, M. H. (2015) Assessing Safety Improvements to Pedestrian Crossings Using Automated Conflict Analysis. *Transportation Research Record*, 2514(1), 58–67. doi:10.3141/2514-07.
- PRF (2023) Dados Abertos da PRF. Polícia Rodoviária Federal. Disponível em: <<https://www.gov.br/prf/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/dados-abertos-da-prf>>. Acesso em 13 de julho de 2023.
- QU, X., JIN, S., & WENG, J. (2015) Analysis of the relationship between aggregated traffic volume and traffic conflicts on expressways. *Transportmetrica A: Transport Science*, 11(7), 648–658. doi:10.1080/23249935.2015.1059378.
- QU, Z., GAO, Y., SONG, X., XIA, Y., MA, L., & YAO, R. (2021) Traffic conflict identification of e-bikes at signalized intersections. *Transport*, 36(2), 185–198. doi:10.3846/transport.2020.13297.
- REYAD, P., SACCHI, E., IBRAHIM, S., & SAYED, T. (2017) Traffic conflict-based before-After study with use of comparison groups and the empirical Bayes method. *Transportation Research Record*, 2659, 15–24. doi:10.3141/2659-02.
- SACCHI, E., & SAYED, T. (2016) Conflict-Based Safety Performance Functions for Predicting Traffic Collisions by Type. *Transportation Research Record*, 2583(1), 50–55. doi:10.3141/2583-07.
- SADEQ, H., & SAYED, T. (2016) Automated roundabout safety analysis: Diagnosis and remedy of safety problems. *Journal of Transportation Engineering*, 142(12). doi:10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000887.
- SAUNIER, N. & SAYED, T. (2007) Automated Analysis of Road Safety with Video Data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2019), 57–64. doi: 10.3141/2019-08

- SAUNIER, N., SAYED, T., & ISMAIL, K. (2010) Large-scale automated analysis of vehicle interactions and collisions. *Transportation Research Record*, (2147), 42–50. doi:10.3141/2147-06.
- SAYED, T., ISMAIL, K., ZAKI, M., & AUTEY, J. (2012) Feasibility of computer vision-based safety evaluations. *Transportation Research Record*, (2280), 18–27. doi:10.3141/2280-03.
- SEGURADORA LIDER (2020) Relatório Anual. Disponível em: <<https://www.seguradoralider.com.br/Centro-de-Dados-e-Estatisticas/Relatorio-Anual>>. Acesso em 13 de julho de 2023.
- SIREGAR, M. L., AGAH, H. R., & HIDAYATULLAH, F. (2018) Near-miss accident analysis for traffic safety improvement at a ‘channelized’ junction with U-turn. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 8(1), 31–38. doi:10.2495/SAFE-V8-N1-31-38.
- SONGCHITRUKSA, P., & TARKO, A. P. (2006) The extreme value theory approach to safety estimation. *Accident Analysis and Prevention*, 38(4), 811–822. doi:10.1016/j.aap.2006.02.003.
- ST-AUBIN, P., MIRANDA-MORENO, L., & SAUNIER, N. (2013) An automated surrogate safety analysis at protected highway ramps using cross-sectional and before-after video data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 36, 284–295. doi:10.1016/j.trc.2013.08.015.
- STIPANCIC, J., ZANGENEHPOUR, S., MIRANDA-MORENO, L., SAUNIER, N., & GRANIÉ, M. A. (2016) Investigating the gender differences on bicycle-vehicle conflicts at urban intersections using an ordered logit methodology. *Accident Analysis and Prevention*, 97, 19–27. doi:10.1016/j.aap.2016.07.033.
- SUN, Z., CHEN, Y., WANG, P., FANG, S., & TANG, B. (2021) Vision-Based Traffic Conflict Detection Using Trajectory Learning and Prediction. *IEEE Access*, 9, 34558–34569. doi:10.1109/ACCESS.2021.3061266.
- TAGELDIN, A., & SAYED, T. (2016) Developing evasive action-based indicators for identifying pedestrian conflicts in less organized traffic environments. *Journal of Advanced Transportation*, 50(6), 1193–1208. doi:10.1002/atr.1397.
- TAGELDIN, A., SAYED, T., ZAKI, M. H., & AZAB, M. (2014) A safety evaluation of an Adaptive Traffic Signal Control system using Computer Vision. *Advances in Transportation Studies*, 2(SPECIAL IS), 83–96. doi:10.4399/97888548735379.
- TAGELDIN, A., SAYED, T., & ISMAIL, K. (2018) Evaluating the safety and operational impacts of left-turn bay extension at signalized intersections using automated video analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 120(August), 13–27. doi:10.1016/j.aap.2018.07.029.
- TAGELDIN, A., SAYED, T., E SHAABAN, K. (2017a) Comparison of time-proximity and evasive action conflict measures case studies from five cities. *Transportation Research Record*, 2661, 19–29. doi:10.3141/2661-03.

- TAGELDIN, A., ZAKI, M. H., & SAYED, T. (2017b) Examining pedestrian evasive actions as a potential indicator for traffic conflicts. *IET Intelligent Transport Systems*, *11*(5), 282–289. doi:10.1049/iet-its.2016.0066.
- TARKO, A. P. (2018) Surrogate measures of safety. *Transport and Sustainability*, *11*, 383–405. doi:10.1108/S2044-994120180000011019.
- TRAFFIC INTELLIGENCE (2022) *Biblioteca de arquivos do projeto Traffic Intelligence*. Disponível em: <<https://bitbucket.org/Nicolas/trafficintelligence/src/master/docs/>>. Acesso em 23 de junho de 2023.
- UZONDU, C., JAMSON, S., & LAI, F. (2018) Exploratory study involving observation of traffic behaviour and conflicts in Nigeria using the Traffic Conflict Technique. *Safety Science*, *110*, 273–284. doi:10.1016/j.ssci.2018.08.029.
- UZONDU, C., JAMSON, S., & LAI, F. (2019) Investigating unsafe behaviours in traffic conflict situations: An observational study in Nigeria. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, *6*(5), 482–492. doi:10.1016/j.jtte.2018.06.002.
- VAN DER HORST, A. R. A., DE GOEDE, M., DE HAIR-BUIJSSEN, S., & METHORST, R. (2014) Traffic conflicts on bicycle paths: A systematic observation of behaviour from video. *Accident Analysis and Prevention*, *62*, 358–368. doi:10.1016/j.aap.2013.04.00.
- VAN DER HORST, A. R. A., THIERRY, M. C., VET, J. M., & RAHMAN, A. K. M. F. (2017) An evaluation of speed management measures in Bangladesh based upon alternative accident recording, speed measurements, and DOCTOR traffic conflict observations. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *46*, 390–403. doi:10.1016/j.trf.2016.05.006..
- WANG, C., YE, Z., XU, Y., & FENG, J. (2018a) Effect of Dwelling Buses on the Traffic Operations of Nonmotor Vehicles at Bus Stops. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, *144*(5), 04018013. doi:10.1061/jtepbs.0000140.
- WANG, Y. Q., XING, F., & ZHANG, L. (2018b) Research on the vehicle–bicycle conflict model at signalized intersection. *Lecture Notes in Electrical Engineering* (Vol. 419, p. 685–693). Springer Verlag. doi:10.1007/978-981-10-3551-7_55.
- WEI, Y., LI, K., & TANG, K. (2019) Trajectory-based identification of critical instantaneous decision events at mixed-flow signalized intersections. *Accident Analysis & Prevention*, *123*, 324–335. doi:10.1016/J.AAP.2018.11.019.
- WHITTEMORE, R., & KNAFL, K. (2005) The integrative review: Updated methodology. *Journal of Advanced Nursing*, *52*(5), 546–553. doi:10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x.
- WOJKE, N., BEWLEY, A., & PAULUS, D. (2017) Simple Online and Realtime Tracking with a Deep Association Metric. *2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)* (p. 3645–3649). doi:10.1109/ICIP.2017.8296962.

- XIE, K., LI, C., OZBAY, K., DOBLER, G., YANG, H., CHIANG, A. T., & GHANDEHARI, M. (2016) Development of a comprehensive framework for video-based safety assessment. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, 2638–2643. doi:10.1109/ITSC.2016.7795980.
- XIE, K., OZBAY, K., YANG, H., & LI, C. (2019) Mining automatically extracted vehicle trajectory data for proactive safety analytics. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 106(July), 61–72. doi:10.1016/j.trc.2019.07.004.
- YANG, D., OZBAY, K., XIE, K., YANG, H., ZUO, F., & SHA, D. (2021) Proactive safety monitoring: A functional approach to detect safety-related anomalies using unmanned aerial vehicle video data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 127(March 2020), 103130. doi:10.1016/j.trc.2021.103130.
- ZAKI, M. H., SAYED, T., & IBRAHIM, S. E. (2016) Comprehensive safety diagnosis using automated video analysis: Applications to an urban intersection in Edmonton, Alberta, Canada. *Transportation Research Record*, 2601, 138–152. doi:10.3141/2601-16.
- ZAKI, M. H., SAYED, T., TAGELDIN, A., & HUSSEIN, M. (2013) Application of Computer Vision to Diagnosis of Pedestrian Safety Issues. *Transportation Research Record*, 2393(1), 75–84. doi:10.3141/2393-09.
- ZHANG, S., ABDEL-ATY, M., CAI, Q., LI, P., & UGAN, J. (2020) Prediction of pedestrian-vehicle conflicts at signalized intersections based on long short-term memory neural network. *Accident Analysis and Prevention*, 148(September), 105799. doi:10.1016/j.aap.2020.105799.
- ZHANG, X., & MENG, X. (2018) A research on traffic conflict characteristics of vehicles going straight or turning right at large intersections. *Lecture Notes in Electrical Engineering* (Vol. 419, p. 527–535). Springer Verlag. doi:10.1007/978-981-10-3551-7_41.
- ZHENG, L., ISMAIL, K. & MENG, X. (2014) Traffic conflict techniques for road safety analysis: Open questions and some insights. *Canadian Journal of Civil Engineering* (Vol. 41, Ed. 7), p. 633-641.
- ZHENG, L., SAYED, T., & TAGELDIN, A. (2018) Before-after safety analysis using extreme value theory: A case of left-turn bay extension. *Accident Analysis and Prevention*, 121, 258–267. doi:10.1016/j.aap.2018.09.023.
- ZHENG, L., & SAYED, T. (2019a) From univariate to bivariate extreme value models: Approaches to integrate traffic conflict indicators for crash estimation. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 103, 211–225. doi:10.1016/j.trc.2019.04.015
- ZHENG, L., & SAYED, T. (2019b) Application of Extreme Value Theory for Before-After Road Safety Analysis. *Transportation Research Record*, 2673(4), 1001–1010. doi:10.1177/0361198119841555.

- ZHENG, L., & SAYED, T. (2020) A novel approach for real time crash prediction at signalized intersections. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 117(May), 102683. doi:10.1016/j.trc.2020.102683.
- ZHENG, L., SAYED, T., & ESSA, M. (2019) Validating the bivariate extreme value modeling approach for road safety estimation with different traffic conflict indicators. *Accident Analysis and Prevention*, 123(December 2018), 314–323. doi:10.1016/j.aap.2018.12.007.
- ZHENG, LAI, SAYED, T., & MANNERING, F. (2021) Modeling traffic conflicts for use in road safety analysis: A review of analytic methods and future directions. *Analytic Methods in Accident Research*, 29. doi:10.1016/j.amar.2020.100142.

APÊNDICE A – MAPA DA LOCALIZAÇÃO DAS CÂMERAS

