

VELOCIDADE VEICULAR PRATICADA EM INTERSEÇÕES URBANAS

Análise Baseada em Dados Naturalísticos

Vehicle speed practiced at urban intersections

Naturalistic Data Based Analysis

Velocidad Vehicular Practicada En Intersecciones Urbanas

Análisis Basado en Datos Naturalísticos

Rafael Alessandro Szeliga, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano da Universidade Federal do Paraná, rafaelsz@ufpr.br

Bruno Henrique Suzuki Chaves, Departamento de Transportes, Universidade Federal do Paraná, brunochaves@ufpr.br

Daniela Trentin Nava, Campus Toledo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, dnava@utfpr.edu.br

Jorge Tiago Bastos, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano da Universidade Federal do Paraná, jtbastos@ufpr.br

RESUMO

A segurança viária é tema importante a diversos setores da sociedade, sendo a velocidade praticada por condutores de veículos motorizados fator de risco tanto para a ocorrência quanto para a severidade dos sinistros. O objetivo desta pesquisa é identificar a influência de fatores viários e ambientais na escolha da velocidade por parte de condutores de veículos de passeio em interseções urbanas a partir da coleta de dados naturalísticos de direção. Foram analisadas um total de 780 manobras de conversão na cidade de Curitiba e sua região metropolitana (região sul do Brasil). A análise estatística mostrou que as velocidades mais altas durante o movimento de conversão são praticadas nas conversões à esquerda, sem deflexões verticais e sem chuva. As situações de variação de velocidade foram mais significativas em ângulos mais fechados de interseções, em vias secundárias, sem a presença de deflexões verticais e com velocidade de aproximação mais altas (a partir de 40 km/h). Os dados naturalísticos mostraram-se adequados para o estudo das velocidades em manobras de conversão.

Palavras-chave: Velocidade, segurança viária, interseções urbanas, Estudo Naturalístico de Direção.

Linha de Investigação:

B2_Os Desafios da Cidade e do Território no Século XXI: B2.4_Bloco transversal – Novas Tecnologias na Análise e Projeto do Território e da Cidade.

ABSTRACT

Road safety is an important issue for several sectors of society, and the speed practiced by drivers of motorized vehicles is a risk factor for both the occurrence and the severity of accidents. The objective of this research is to identify the influence of road and environmental factors in the choice of speed by drivers of passenger vehicles in urban intersections through the collection of naturalistic driving data. A total of 780 conversion maneuvers were analyzed in the city of Curitiba and its metropolitan region (Southern Brazil). The statistical analyzes showed that the highest speeds during the turning movement are practiced in left turns, without vertical deflections and without rain. The situations of speed variation were more significant at tighter angles of intersections, on secondary roads, without the presence of speed bumps and with higher approach speeds (entry speeds from 40 km/h). The naturalistic data showed to be adequate for the study of speeds in turning maneuvers.

Keywords: Speed, road safety, urban intersections, Naturalistic Driving Study.

Research Topic:

B2_The Challenges of the City and the Territory in the XXI Century – B2.4_Cross Block: New Technologies in the Analysis and Design of the Territory and the City.

RESUMEN

La seguridad vial es un tema importante para diversos sectores de la sociedad, y la velocidad practicada por los conductores de vehículos automotores es un factor de riesgo tanto para la ocurrencia como para la

gravedad de los accidentes. El objetivo de esta investigación es identificar la influencia de los factores viales y ambientales en la elección de la velocidad por parte de los conductores de vehículos de pasajeros en intersecciones urbanas a partir de la recolección de datos naturalísticos de conducción. Se analizaron un total de 780 maniobras de giro en la ciudad de Curitiba y su región metropolitana (región sur de Brasil). El análisis estadístico mostró que las velocidades más altas se practican en los giros a la izquierda, sin desviaciones verticales y sin lluvia. Las situaciones de variación de velocidad fueron más significativas en ángulos de intersección más cerrados, en vías secundarias, sin presencia de badenes y con velocidades de aproximación más altas (a partir de 40 km/h). Los datos naturalísticos se mostraron adecuados para el estudio de velocidades en maniobras de giro.

Palabras clave: Velocidad, seguridad vial, intersecciones urbanas, Estudios Naturalísticos de Conducción.

Línea de Investigación:

B2_Los Retos de la Ciudad y el Territorio en el Siglo XXI – B2.4_Bloque transversal: Nuevas Tecnologías en el Análisis y Proyecto del Territorio y la Ciudad.

1. Introdução

A segurança viária é tema sensível a diversos setores da sociedade afetados pelos prejuízos associados à sinistralidade viária. A lei nº 13.614 de 2018 criou o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS), o qual tem por objetivo reduzir pela metade o índice nacional de mortos no trânsito por grupo de veículos e por grupo de habitantes. Dentre pilares do PNATRANS cabe ressaltar o de nº 7 “Mobilidade e Engenharia”, o qual prevê considerar intervenções que evitem os conflitos entre pedestres e veículos motorizados, seja nos projetos de novas vias ou revisão das existentes (Brasil, 2018).

As interseções urbanas são o principal local de encontro entre usuários motorizados e não motorizados, sendo, portanto, locais naturais de conflito e propícios para a ocorrência de sinistros de trânsito (Russell, Mandavilli e Rys, 2005; NHSTA, 2010; NACTO, 2018). Um desenho viário em áreas urbanas que leve em consideração a interação entre veículos e pedestres necessita de um melhor entendimento de como se dá a escolha da velocidade empregada por condutores, notadamente em cruzamentos. O objetivo do presente estudo é identificar a velocidade desenvolvida por condutores de veículos de passeio ao longo de manobras de conversão em interseções urbanas bem como as variáveis associadas que influenciam nessa escolha de velocidade. O cenário do estudo é a Região Metropolitana de Curitiba (RMC) e a metodologia empregada consiste na coleta e tratamento de dados naturalísticos de condução.

Na sequência é apresentada uma revisão de literatura que aborda a velocidade como fator de risco tanto para ocorrência quanto para a severidade dos sinistros de trânsito. São abordadas diferentes formas de obtenção da velocidade veicular e são apresentados os Estudos Naturalísticos de Direção que caracterizam a coleta de dados para o presente artigo. Finalmente, são abordados os tratamentos e filtragem dos dados coletados assim como as análises estatísticas e os resultados verificados, seguidos pelas considerações finais.

2. Revisão de Literatura

A revisão da literatura realizada para o presente trabalho incluiu inicialmente a discussão da velocidade como um fator de risco tanto para a ocorrência quanto para a severidade dos sinistros de trânsito. Na sequência, são tecidas considerações a respeito das alternativas de medição da velocidade para subsidiar estudos sobre o tema. Por fim, a metodologia dos Estudos Naturalísticos de Direção é apresentada, considerando tanto o cenário internacional quanto o nacional.

2.1. Velocidade como fator de risco

Velocidades mais altas de veículos estão associadas ao aumento das probabilidades de risco de colisão, bem como seus agravamentos. Com o aumento na velocidade dos veículos, tem-se um aumento da energia cinética, resultando assim em um impacto mais severo (Elvik 2012, 2013).

Sob velocidades elevadas, aumenta-se a distância percorrida pelo conjunto condutor/veículo durante o tempo disponível para reação e, desta forma, aumenta-se sua distância de parada. Além disso, em altas velocidades, o tempo disponível para julgar as ações a serem tomadas fica reduzido, de modo que a probabilidade de erros aumenta (OECD, 2006; OPAS, 2012, 2013).

Coadunando com os estudos indicados acima, quando se considera o efeito sobre pedestres, a gravidade do sinistro aumenta de forma significativa em função da velocidade do veículo, especialmente a partir dos 30

km/h. Em sinistros que ocorrem no estágio de 50 km/h, o risco de morte passa de 80%, conforme ilustrado na Fig. 1 (Ashton, 1980; OECD, 2006; Richards, 2010).

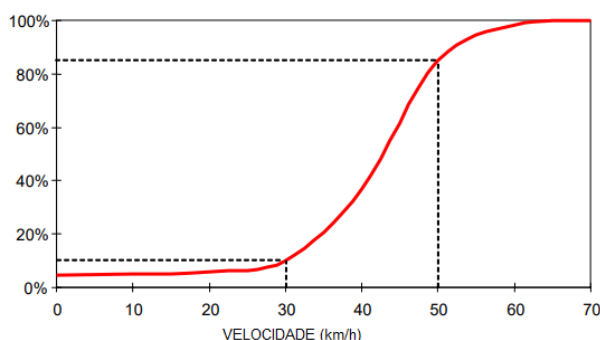


Fig. 1: Probabilidade de lesão fatal de pedestres em um atropelamento. Fonte: OECD (2006)

Nesse sentido, Tiwari e Mohan (2016) apontam que a ocorrência e o resultado de eventos causadores de lesões são previsíveis e, em muitos casos, sujeitos ao controle humano. As situações em que as probabilidades de sinistros de trânsito tendem a aumentar podem ser antevistas e projetos adequados podem abrandar lesões ou mesmo evitar fatalidades. Assim, conhecer a velocidade operacional na via é importante para o entendimento das intervenções necessárias.

2.2. Velocidade em meio urbano

Ao longo de diversos estudos, vários elementos foram considerados para relacionar a velocidade operacional de veículos em meio urbano. A Tab. 1 sintetiza as informações mais relevantes de diversos pesquisadores a respeito do tema.

Autoria	Aspectos mais relevantes
Poe e Mason (2000)	Ângulo de deflexão; Greide; Largura da faixa; Densidade de objetos ao longo da via.
Tarris, Mason e Antonucci (2000)	Raio da curva; Superelevação e comprimento da curva; Velocidade de projeto.
Fitzpatrick et al. (2001)	Velocidade da via; Ângulo de deflexão; Densidade de acessos à via.
Wang et al. (2006)	Número de faixas; Presença de calçadas e de estacionamento na via.
Obaidat e Mohammad, (2012)	Velocidade de entrada na curva.
Dinh e Kubota (2013)	Número de faixas; Comprimento do corredor; Presença de calçadas; Densidade de objetos ao longo da via; Largura da via.
Eluru et al. (2013)	Número de faixas.

Fitzpatrick, Pratt e Avelar (2021)	Raio da esquina; Veículo à frente convertendo ou seguindo; Semáforo em verde ou amarelo.
------------------------------------	--

Tab. 1: Aspectos relevantes em estudos de velocidades em curvas horizontais. Fonte: Elaboração própria (2022)

2.2. Medição de velocidade

São diversas as formas de obter a velocidade operacional de veículos em meio urbano, podendo ser utilizados detectores dispostos na própria via conforme (Poe e Mason, 2000), radares móveis (Fitzpatrick et al., 2001), dispositivos receptores de GPS dentro dos veículos (Obaidat e Mohammad, 2012; Wang et al., 2006) ou mesmo imagens capturadas por drones (Barmounakis e Geroliminis, 2020).

Contudo, esses métodos não permitem a detecção de outros parâmetros que não sejam aqueles específicos das localidades em que está sendo realizada a coleta de dados. Conforme apontam van Nes et al. (2019), a condução de um veículo é uma ação contínua e o mais apropriado para sua compreensão é a coleta e análise também contínua dos dados. Os Estudos Naturalísticos de Direção permitem a coleta de dados da viagem desde o início até o seu término e proporcionam a realização de análises das situações pretéritas aos eventos que se deseja estudar (Hankey, Perez e Mcclafferty, 2016).

Os Estudos Naturalísticos de Direção, tradução do termo inglês *Naturalistic Driving Study* (NDS) baseiam-se no monitoramento da tarefa real de condução considerando os ambientes interno e externo ao veículo além do próprio condutor por meio de uma plataforma embarcada de coleta de dados sem qualquer tipo de interferência, orientação ou controle sobre o trajeto realizado (Schagen, Sagberg e Musicant, 2011). As principais características dos estudos naturalísticos encontram-se listadas a seguir:

- Os condutores utilizam seus próprios veículos;
- As informações coletadas incluem dados do condutor, do veículo e do ambiente ao redor do veículo;
- A instrumentação é discreta de forma que os condutores deixem de prestar atenção nela;
- Os pesquisadores não participam dos trajetos, que são de livre escolha dos condutores;
- As informações são coletadas de forma contínua durante a condução do veículo.

3. Materiais e Métodos

A metodologia aplicada para aquisição dos dados envolve a utilização da base de dados do Estudo Naturalístico de Direção Brasileiro, o NDS-BR. A plataforma de coleta de dados do estudo brasileiro é composta por um computador, três câmeras, um módulo GPS-USB e um inversor de voltagem ilustrada na Fig. 2, conforme visto em Borguezani et al. (2020).

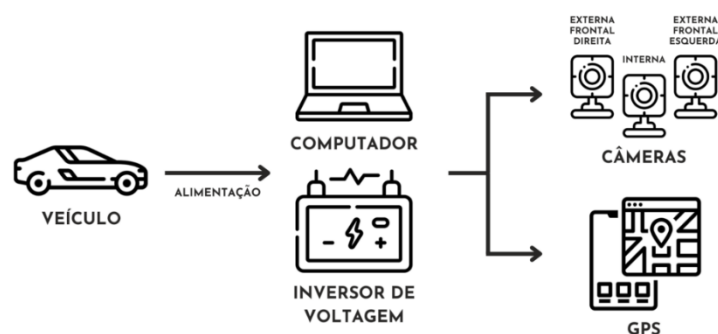


Fig. 2: Esquema da Plataforma de Coleta de Dados Naturalísticos. Fonte: Borguezani et al (2020)

As câmeras foram fixadas no interior dos veículos sendo duas voltadas para o ambiente externo e uma para o ambiente interno conforme demonstrado na Fig. 3. As câmeras apontadas para o ambiente externo contemplam o campo de visão do condutor, enquanto a terceira câmera registra as atitudes do condutor durante o trajeto. O receptor *GPS* registra informações a cada 1 segundo, com o objetivo de obter a posição e a velocidade instantânea dos veículos.

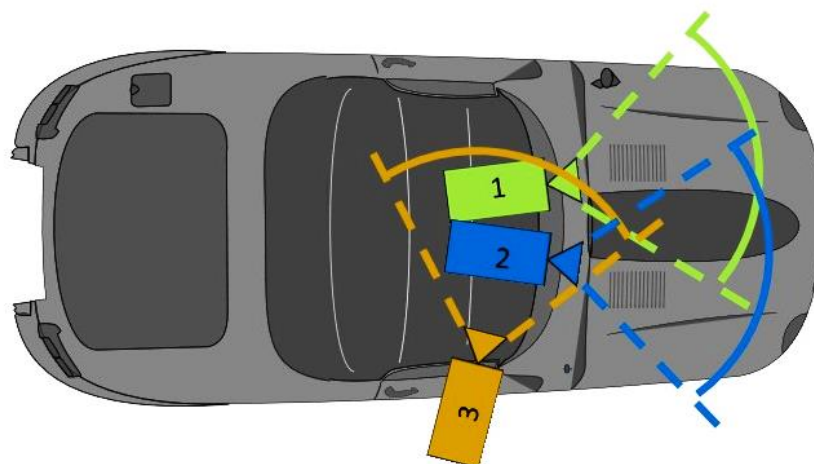


Fig. 3: Orientação das Câmeras no Interior do Veículo. Fonte: Elaboração própria (2022)

Para o presente trabalho foram utilizados os dados de viagens de uma amostra de 16 condutores. A amostra contempla 9 pessoas do sexo masculino e 7 do sexo feminino, com idades variando entre 21 e 62 anos e tempo de habilitação variando de 2 a 37 anos. Dos 16 condutores, 13 utilizavam o veículo para uso convencional e três eram motoristas de aplicativo. O tempo médio de condução variou entre sete e quatorze dias para cada condutor.

No total foram registradas 483 viagens, que contemplam 238,85 horas de condução e 5.362,75 km de distância percorrida na cidade de Curitiba-PR e região metropolitana.

Os dados coletados a partir do *GPS* geraram uma planilha eletrônica em que cada linha representava um segundo de informação, com destaque para as informações de velocidade instantânea e localização geográfica (latitude e longitude). Em um primeiro momento, estes dados foram tratados no software *QG/S*®, resultando nos trajetos percorridos pelos condutores. Estes dados foram cruzados com uma malha viária, construída a partir de dados do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC) e do *OpenStreetMap* (IPPUC, 2019; OSM, 2020). Uma das viagens é apresentada na Fig. 4 com imagem do serviço *Google Maps*.



Fig. 4: Exemplo de viagem. Fonte: Elaboração própria com dados do Google Maps (2022)

A distribuição espacial das viagens pode ser visualizada na Fig. 5, onde observa-se que elas ocorreram predominantemente na região central de Curitiba. Os limites municipais foram obtidos a partir de dados do Instituto Água e Terra do governo do Paraná (IAT, 2020).

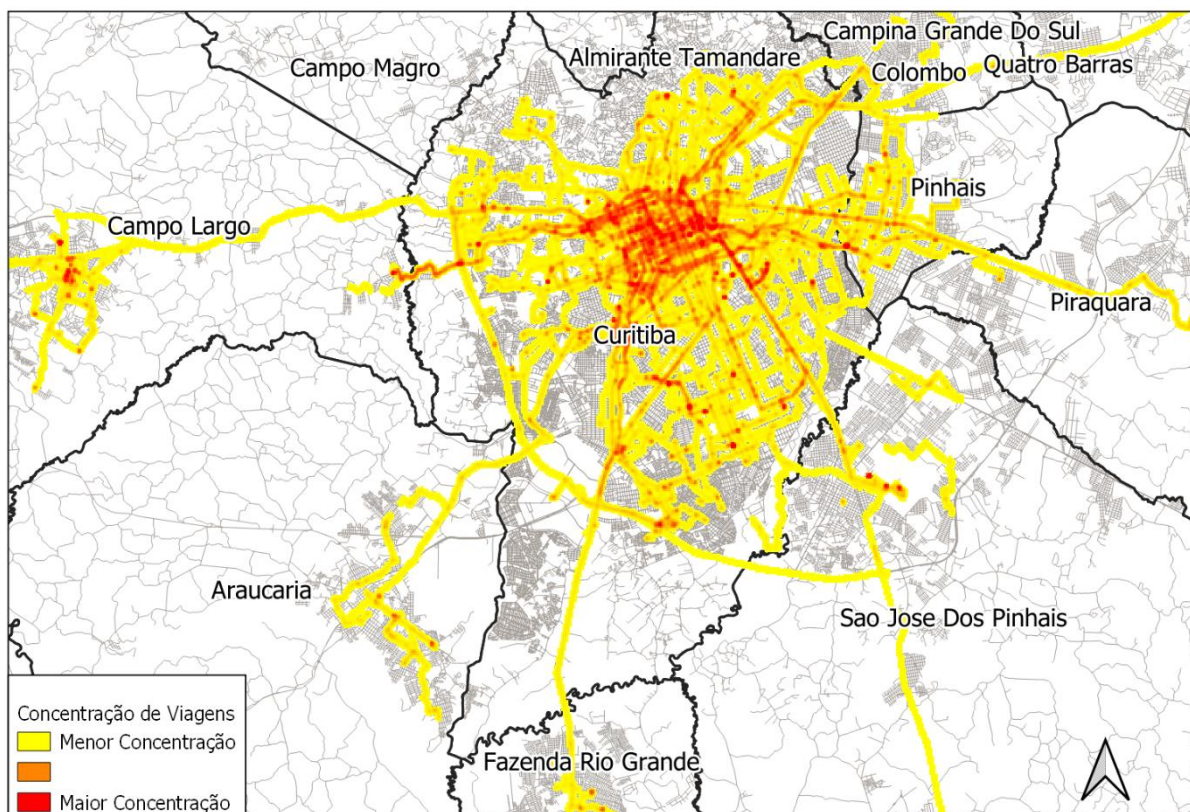


Fig. 5: Mapa de Calor com distribuição das viagens. Fonte: Elaboração própria (2022)

Foi determinado um limite de 10 metros a partir do eixo viário de forma a representar a caixa da via e assim associar os registros pontuais do GPS à via. Os pontos que eventualmente ficaram localizados para fora dessa caixa, foram descartados por serem considerados imprecisos. Um exemplo pode ser observado na Fig.

6, onde os pontos localizam-se fora da malha viária. Nessa imagem foram representados os intervalos de velocidades praticadas durante o movimento de conversão.



Fig. 6: Exemplo de pontos fora da malha viária. Fonte: Elaboração própria (2022)

Para as análises foi estipulado um limite de influência de 50 metros antes e depois do movimento de conversão. Foram considerados apenas os movimentos com uma trajetória contínua e sem paradas de forma semelhante a outras metodologias conforme visto em Abdeljaber, Younis e Alhajyaseen (2020) e Fitzpatrick, Pratt e Avelar (2021).

A condição de movimento congestionado foi identificada visualmente pelo acúmulo de pontos dentro do intervalo de 50 metros. Ainda, foram eliminadas as situações em que as curvas estavam a menos de 100 metros entre si respeitando as distâncias de 50 metros antes e após a interseção.

Foram identificados os pontos de mudança de trajetória, a saber, PC – Ponto de Curva (quando se inicia o movimento de conversão) e PT – Ponto de Tangência (quando se finaliza o movimento de conversão). Na Fig. 7, é apresentada a localização dos pontos notáveis utilizados para as análises, além das faixas de velocidade.

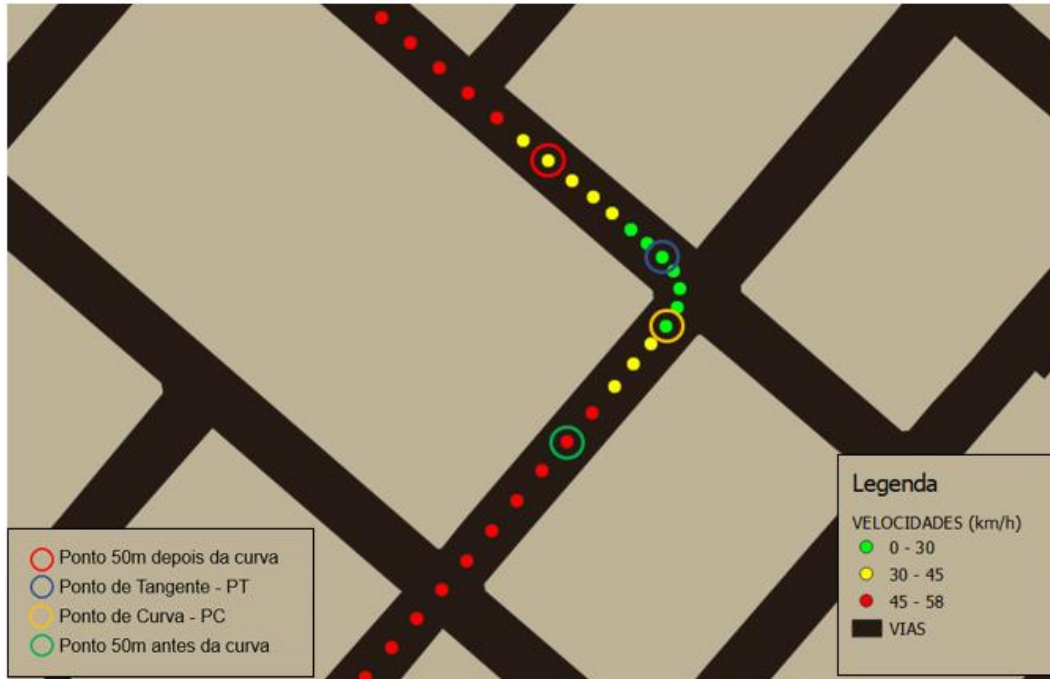


Fig. 7: Localização de pontos notáveis para análise das curvas. Fonte: Elaboração própria (2022)

Foram calculadas as velocidades médias durante as conversões. Além disso, considerando o intervalo de 50 metros antes da curva, foram calculados valores de velocidade de entrada (média dos três primeiros registros) e saída (médias dos três últimos registros).

Procedeu-se, então, a análise das filmagens que permitiram identificar situações em que pedestres ou ciclistas atravessavam, conversão em vias com acesso preferencial ou secundário, presença de dispositivos de deflexão vertical (do tipo lombadas ou travessias elevadas) e situações com ou sem chuva.

Além das velocidades nas curvas, foi também considerada a variação de velocidade (ΔV), sendo essa a diferença entre a velocidade média de entrada (V_e) na tangente anterior à curva e a velocidade média na curva (V_c). Nesse caso foram encontrados valores negativos para essa variável que indicam velocidade em curva superior àquela praticada na reta anterior. Essas situações são oriundas de movimentos que estão condicionados a tráfego e foram, portanto, descartadas das análises estatísticas.

3.1. Critérios de Análise

Foram suprimidas as situações que envolviam a passagem de pedestres ou ciclistas, pois o comportamento do condutor é influenciado pela sua presença, conforme visto em Lubbe e Davidsson (2015) e Sheykhfard et al. (2021).

Por fim, após a compilação das informações das planilhas, análises espaciais e codificação manual dos vídeos, um total de 780 manobras foram classificadas segundo os critérios abaixo:

- ângulo de deflexão da conversão (30°, 60°, 90° e 120°);
- direção da conversão (à esquerda ou à direita);
- controle de preferencial (controle semafórico, via preferencial ou via secundária);
- presença de deflexão vertical antes da curva (“sim” ou “não”);
- ocorrência de chuva (“sim” ou “não”);
- segmentação por velocidade de aproximação (até 30 km/h, de 30km/h a 40 km/h, de 40km/h a 50 km/h e acima de 50 km/h).

3.2. Análises Estatísticas

Os dados passaram por análises que incluíram uma descrição geral dos dados, a realização de testes de normalidade e aplicação de testes estatísticos. As análises foram realizadas com o software estatístico R (R Core Team, 2021). Para os casos de distribuição normal de frequências, foram realizadas comparações a partir de testes paramétricos, como o teste-t de *Student* para duas amostras ou análise de variância (ANOVA) para os casos de mais de duas amostras. Quando a situação de normalidade não foi atendida, a comparação foi efetuada a partir do teste não-paramétrico de *Wilcoxon-Mann-Whitney* para comparação de duas amostras. Na Tab. 2, estão mostradas as estatísticas descritivas das velocidades observadas de forma geral.

Variável	N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
Ve	780	37,46	7,40	15,06	37,34	62,44
Vc	780	22,42	6,82	6,83	21,71	49,27
Vs	780	36,15	8,11	5,16	36,35	67,75
ΔV	780	15,03	7,00	0,09	15,13	38,05

Tab. 2: Estatísticas descritivas para as velocidades analisadas. Fonte: Elaboração própria (2022)

A velocidade de aproximação em conversões resultou, em média, igual a 37,46 km/h. Durante a manobra de conversão, essa velocidade é reduzida para o valor médio de 22,42 km/h, o que representa uma redução de 59,93% na velocidade de entrada. A velocidade de saída das curvas horizontais resultou igual a 36,15 km/h em média, ou seja, retornando ao patamar de velocidade anterior à conversão. Tais valores permitem descrever de maneira geral as velocidades praticadas por condutores de automóveis ao longo de conversões no cenário urbano estudado, assim como representam as velocidades sob as quais se dá a interação com usuários não motorizados em áreas de cruzamento.

A seguir são elencados os histogramas com as distribuições de frequências de velocidades. Para as velocidades de entrada nas curvas, a Fig. 8 mostra que os dados seguem uma distribuição normal, na resposta ao teste de normalidade *Anderson-Darling* ao nível de 5% de significância.

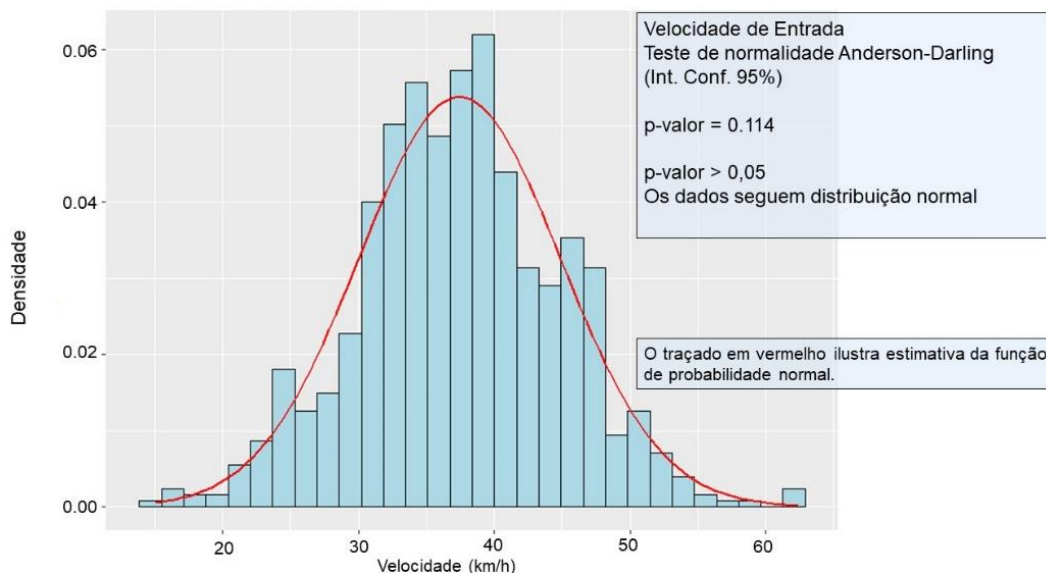


Fig. 8: Histograma para valores de velocidade de entrada nas curvas. Fonte: Elaboração própria (2022)

Para as velocidades nas curvas, a Fig. 9 indica que os dados não seguem uma distribuição do tipo normal, na resposta ao teste de normalidade *Anderson-Darling* ao nível de 5% de significância.

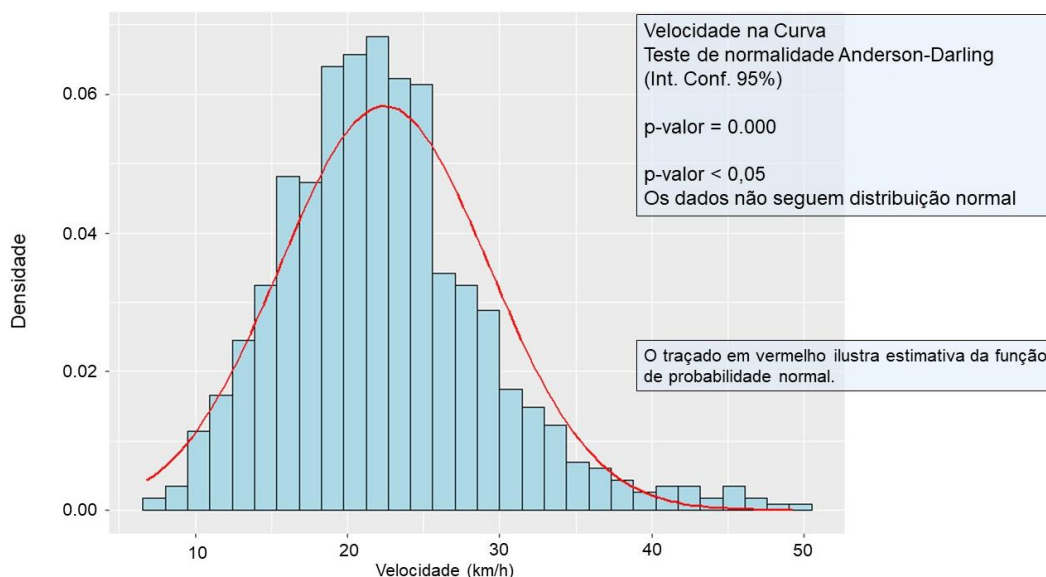


Fig. 9: Histograma para valores de velocidade nas curvas. Fonte: Elaboração própria (2022)

Considerando a variação de velocidade, a Fig. 10 mostra a distribuição de frequência e resposta ao teste de normalidade *Anderson-Darling* ao nível de 5% de significância, indicando que os dados seguem uma distribuição do tipo normal.

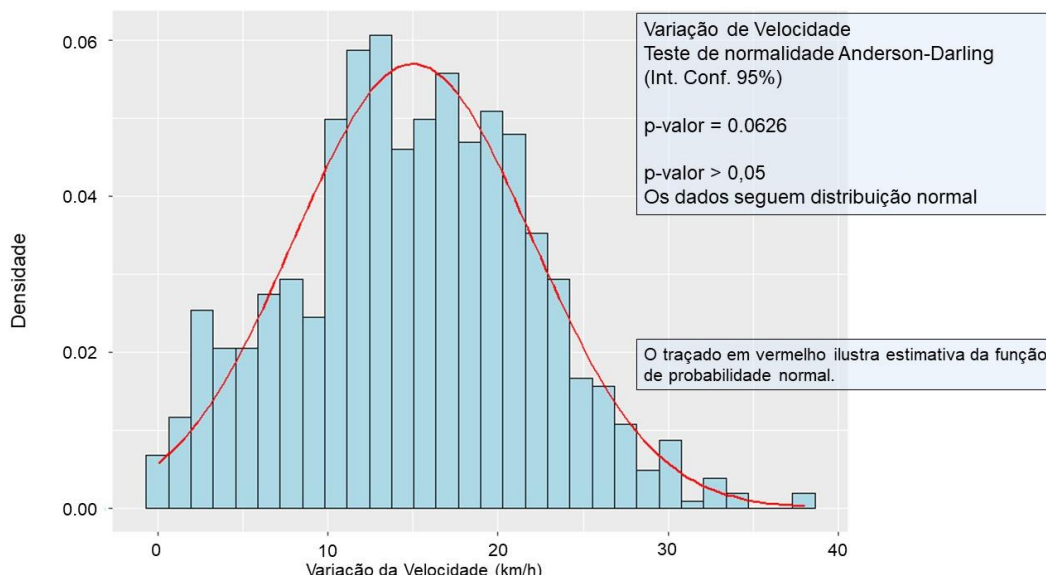


Fig. 10: Histograma para valores de variação de velocidade nas curvas. Fonte: Elaboração própria (2022)

Com base nesses resultados, procederam-se análises considerando as situações de diferentes ângulos de deflexão da conversão, direção, controle de preferencial, existência de deflexões verticais, ocorrência de chuva e velocidade de chegada no cruzamento.

Na sequência são apresentados os resultados obtidos a partir dos testes estatísticos de comparação entre as situações.

4. Resultados

Para as situações de velocidade na curva (V_c), foram comparadas velocidades de conversão à esquerda ou à direita, existência ou não de deflexões verticais antes da curva, além da ocorrência ou não de chuva durante o movimento. A Tab. 3 resume as estatísticas descritivas de velocidades praticadas pelos veículos nas curvas

Situação Avaliada		N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
Direção	Direita	448	21,51	7,03	7,97	20,77	49,27
	Esquerda	332	23,65	6,34	6,83	23,11	45,67
Deflexões verticais	Sim	52	19,87	5,72	10,32	19,56	22,34
	Não	728	22,61	6,86	6,83	21,93	26,10
Chuva	Sim	80	20,00	5,74	9,92	19,75	34,87
	Não	700	22,70	6,88	6,83	22,04	49,27

Tab. 3: Estatísticas Descritivas – Velocidade em Curva. Fonte: Elaboração própria (2022)

Considerando a variação de velocidade (ΔV), foram comparadas as situações de ângulo de deflexão, direção da conversão, controle de acesso, existência ou não de deflexões verticais antes da curva, ocorrência ou não de chuva, além da velocidade de entrada no cruzamento. A Tab. 4 resume as estatísticas descritivas para a variação da velocidade nesses casos.

Situação Avaliada		N	Média (km/h)	DesvPad (km/h)	Mínimo (km/h)	Mediana (km/h)	Máximo (km/h)
Deflexão	30°	37	6,49	5,05	0,08	5,58	23,87
	60°	78	11,81	6,56	0,73	11,45	27,42
	90°	632	15,87	6,67	0,19	15,84	38,05
	120°	33	16,11	7,69	1,16	16,29	30,99
Direção	Direita	448	15,42	7,04	0,08	15,53	38,05
	Esquerda	332	14,51	6,93	0,21	14,50	34,43
Controle de Acesso	Semáforo	300	12,94	6,69	0,09	12,54	30,99
	Via Preferencial	338	15,58	6,86	0,19	15,95	37,57
	Via Secundária	142	18,13	6,62	0,73	17,96	38,05
Deflexões verticais	Sim	52	11,37	5,34	0,19	11,23	23,01
	Não	728	15,29	7,03	0,09	15,40	38,05
Chuva	Sim	80	16,19	6,54	0,21	14,87	34,43
	Não	700	14,90	7,04	0,08	14,84	38,05
Velocidade de Entrada (km/h)	Até 30	107	7,84	4,73	0,19	8,14	18,45
	30 - 40	404	14,18	5,23	0,09	13,93	27,42
	40 - 50	235	18,92	6,62	0,42	19,13	34,43
	Mais que 50	34	20,89	9,03	2,59	21,98	38,05

Tab. 4: Estatísticas Descritivas – Variação de Velocidade. Fonte: Elaboração própria (2022)

As comparações envolvendo a variável velocidade na curva ocorreram com testes não-paramétricos, ao passo que as comparações de variação da velocidade foram analisadas através de testes paramétricos, todos ao nível de 5% de significância.

As análises estatísticas mostraram que as velocidades mais altas durante o movimento de conversão (V_c) são praticadas em situações de conversão à esquerda, sem dispositivos de deflexão vertical e em condição sem chuva.

A Tab. 5 apresenta um resumo dos testes para as velocidades praticadas nas curvas.

Situação	Comparação	p-valor	Resultado
Direção	Mann-Whitney	< 0,05	Conversões à esquerda com velocidades mais altas.
Deflexão Vertical	Mann-Whitney	< 0,05	Maiores velocidades em curva nas situações sem dispositivo de deflexão vertical.
Condição Climática	Mann-Whitney	< 0,05	Situações sem chuva com velocidades mais altas.

Tab. 5: Resumo dos resultados dos testes aplicados para as velocidades nas curvas. Fonte: elaboração própria (2022)

Para os casos de variação de velocidade considerando o ângulo de deflexão, foram identificadas três segmentações distintas na análise ANOVA. No primeiro grupo, as conversões de 30° (variação média de 6,49 km/h, d.p. = 5,05 km/h), no segundo, as conversões de 60° (variação média de 11,81 km/h, d.p. = 6,56 km/h) e, finalmente, o terceiro englobando as conversões de 90° e 120°, com variações médias de 15,87 km/h (d.p. = 6,67 km/h) e 16,11 km/h (d.p. = 7,69 km/h), respectivamente.

Os movimentos provenientes de vias secundárias apresentaram maior variação média de velocidade (18,13 km/h, d.p. = 6,62 km/h) contra movimentos oriundos de via preferencial (média de 15,58 km/h, d.p. = 6,86 km/h) ou ocorridos em cruzamentos semaforizados (média de 12,94 km/h, d.p. = 6,69 km/h). A análise ANOVA efetuada mostrou que cada uma dessas situações é estatisticamente diferente entre si.

A presença de dispositivos de deflexão vertical anterior à curva (lombadas ou travessias elevadas), mostrou uma menor variação de velocidade média (11,37 km/h, d.p. = 5,34 km/h) quando comparada à situação de ausência desses dispositivos (15,29 km/h, d.p. = 7,03 km/h), respectivamente.

No caso das velocidades de aproximação, três agrupamentos foram identificados, sendo o primeiro com velocidade de até 30 km/h (variação média de 7,84 km/h, d.p. = 4,73 km/h), o segundo com velocidades de 30 a 40 km/h (variação média de 14,18 km/h, d.p. = 5,23 km/h) e o terceiro englobando as segmentações de 40 a 50 km/h (18,92 km/h, d.p. = 6,62 km/h) e acima de 50 km/h (20,89 km/h, d.p. = 9,03 km/h).

Os resultados para a variação de velocidade não foram estatisticamente significativos para direção da curva e condição climática. Abaixo, a Tab. 6 apresenta o resumo de comparações para as variações de velocidades.

Situação	Comparação	p-valor	Resultado
Deflexão	ANOVA	< 0,05	Maior variação para deflexões de 90° e 120°.
Direção	Teste-t	0,081	Não há diferenças entre as amostras consideradas.
Controle de Preferencial	ANOVA	< 0,05	Maior variação encontrada em vias secundárias não semaforizadas.
Deflexão Vertical	Teste-t	< 0,05	Maior variação encontrada em situações sem dispositivo de deflexão vertical.
Condição Climática	Teste-t	0,099	Não há diferença entre as amostras consideradas.
Velocidade de Entrada	ANOVA	< 0,05	Maior variação para velocidades de entrada a partir de 40 km/h.

Tab. 6: Resumo dos resultados dos testes aplicados para as variações de velocidade. Fonte: elaboração própria (2022)

5. Considerações finais

A redução da velocidade resultou menor para cruzamentos com ângulos de deflexão menores, de 30° e 60°, e maior para deflexões mais elevadas, de 90° e 120°. A partir deste resultado pode-se formular uma importante diretriz para o desenho de interseções urbanas como medida de gestão da velocidade: ângulos de deflexão mais elevados resultam em velocidades mais seguras durante a conversão.

Quanto à direção, a variação da velocidade não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre manobras de conversão à esquerda ou à direita, ainda que os cruzamentos à esquerda apresentem

velocidades mais elevadas. Este aspecto pode ser associado ao desenvolvimento mais longo da conversão à esquerda, reduzindo os efeitos tanto do raio de giro quanto do ângulo de deflexão.

Quanto ao controle de preferencial, os movimentos oriundos de vias secundárias apresentaram maior variação de velocidade em contraponto às vias com controle semaforico, o que indica que a efetividade da sinalização viária pode ser melhor investigada para a redução de velocidade em cruzamentos. Tal resultado pode ser associado à maior segurança proporcionada pelo controle semaforico, já que há certa garantia por parte do condutor de que não haverá conflitos em sua conversão, acarretando velocidades mais elevadas. No entanto, os benefícios mais abrangentes no âmbito da segurança e fluidez da implantação de semáforos devem ser levados em consideração.

Quanto a lombadas e travessias elevadas, o estudo indicou que tais dispositivos apresentam influência de redução da velocidade se próximas aos locais de cruzamento, reduzindo a velocidade dos veículos na aproximação do cruzamento e da conversão. Pesquisas futuras focadas especificamente sobre esse tópico podem trazer mais luz ao tema. Em relação à condição climática, a situação com chuva se traduz em menor velocidade no cruzamento do que em pista seca, o que é condizente com a adoção de comportamento mais seguro em situações de maior percepção de risco.

Quanto à velocidade de aproximação, a elevada variação de velocidade no grupo de mais de 50 km/h indica a adequação dos limites de velocidades no patamar dos 50 km/h em áreas urbanas, visando tanto uma redução menos pronunciada da velocidade para a realização de conversões quanto uma velocidade mais baixa durante a curva. Pesquisas futuras envolvendo outros aspectos e a expansão da base de dados apresentam potencial de produzir leituras adicionais para o planejamento de cidades e desenho de vias com um trânsito mais seguro.

Referências

- Abdeljaber, O., Younis, A. e Alhajyaseen, W. (2020). "Analysis of the Trajectories of Left-Turning Vehicles at Signalized Intersections." *Transportation Research Procedia* 48: 1288–95. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S235214652030569X>.
- Ashton, S. J. (1980). "A Preliminary Assessment of the Potential for Pedestrian Injury Reduction through Vehicle Design." In *SAE Technical Papers*, SAE International, 607–35.
- Barmounakis, E. e Geroliminis, N. (2020). "On the New Era of Urban Traffic Monitoring with Massive Drone Data: The PNEUMA Large-Scale Field Experiment." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 111: 50–71.
- Borguezani, J. R. et al. (2020). PLATAFORMA DE COLETA DE DADOS NATURALÍSTICOS DE SEGURANÇA VIÁRIA. *34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes da ANPET*
- Brasil (2018). Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (Pnatrans), Brasília, 11 jan. 2018, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/L13614.htm (12 de julho de 2021).
- Dinh, D. D. e Kubota, H. (2013). "Profile-Speed Data-Based Models to Estimate Operating Speeds for Urban Residential Streets with a 30km/h Speed Limit." *IATSS Research* 36(2): 115–22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iatssr.2012.06.001>.
- Eluru, N. et al. (2013). "Modeling Vehicle Operating Speed on Urban Roads in Montreal: A Panel Mixed Ordered Probit Fractional Split Model." *Accident Analysis and Prevention* 59: 125–34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2013.05.016>.
- Elvik, R. (2012). "Speed Limits, Enforcement, and Health Consequences." *Annual Review of Public Health* 33: 225–38.
- . (2013). "A Re-Parameterisation of the Power Model of the Relationship between the Speed of Traffic and the Number of Accidents and Accident Victims." *Accident Analysis and Prevention* 50: 854–60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2012.07.012>.
- Fitzpatrick, K. et al. (2001). "Driver Speed on Suburban Streets." *Transportation Research Record* (01): 18–25.
- Fitzpatrick, K., Pratt, M. P. e Avelar, R. (2021). "Speeds of Right-Turning Vehicles at Signalized Intersections during Green or Yellow Phase." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*: 036119812110116.

- Hankey, J. M., Perez, M. A. e McClafferty, J. A.. (2016). 9 The Strategic Highway Research Program 2 Transportation Research Board of The National Academies *Description of the SHRP 2 Naturalistic Database and the Crash, Near-Crash, and Baseline Data Sets*. <http://hdl.handle.net/10919/70850>.
- IAT. (2020). "Limites Municipais Do Paraná." https://geonode.paranagua.pr.gov.br/layers/geonode:a__031_004_limitesMunicipaisPR_IAT (September 15, 2021).
- IPPUC. (2019). "IPPUC: Dados Geográficos." <https://ippuc.org.br/geodownloads/geo.htm> (March 16, 2020).
- Lubbe, N e Davidsson, J. (2015). "Drivers' Comfort Boundaries in Pedestrian Crossings: A Study in Driver Braking Characteristics as a Function of Pedestrian Walking Speed." *Safety Science* 75: 100–106. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2015.01.019>.
- NACTO - National Association of City Transportation Officials. (2018). *Guia Global de Desenho de Ruas*. ed. SENAC. São Paulo.
- van Nes, N. et al. (2019). "The Potential of Naturalistic Driving for In-Depth Understanding of Driver Behavior: UDRIVE Results and Beyond." *Safety Science* 119(December 2018): 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.12.029>.
- NHSTA. (2010). "Crash Factors in Intersection-Related Crashes : An On-Scene Perspective." (September). www.ntis.gov.
- Obaidat, M. T. e Mohammad , A. A.. (2012). "GPS Vehicle Tracking in Urban Areas." *Civil-Comp Proceedings* 100 (September 2012).
- OECD. (2006). "Speed Management." In OECD.
- OPAS. (2012). *Speed Management : A Road Safety Manual for Decision-Makers and Practitioners*. Global Road Safety Partnership.
- . (2013). *Segurança de Pedestres: Manual de Segurança Viária Para Gestores e Profissionais Da Área*.
- OSM. (2020). "OpenStreetMap." <https://www.openstreetmap.org> (March 16, 2020).
- Poe, C. M. e Mason, J. M. (2000). "Analyzing Influence of Geometric Design on Operating Speeds Along Low-Speed Urban Streets Mixed-Model Approach." *Journal of Transportation Research Board* 1737(1): 18–25. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.3141/1737-03>.
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Richards, D C. (2010). *Relationship between Speed and Risk of Fatal Injury: Pedestrians and Car Occupants*.
- Russell, E. R, Mandavilli, S. e Rys, M. J.. (2005). "Operational Performance of Kansas Roundabouts: Phase II." *No. K-TRAN: KSU-02-4* (May): 138.
- Schagen, I., Sagberg, F. e Musicant, O.. (2011). *Towards a Large Scale European Naturalistic Driving Study : Final Report of PROLOGUE Related Papers*.
- Sheykhfard, A. et al.,. (2021). "Analysis of the Occurrence and Severity of Vehicle-Pedestrian Conflicts in Marked and Unmarked Crosswalks through Naturalistic Driving Study." *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 76: 178–92.
- Tarris, J. P., Mason, J. M. e Antonucci, N. D. (2000). "Geometric Design of Low-Speed Urban Streets." *Journal of the Transportation Research Board* 1701(1): 95–103. <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.3141/1701-12>.
- Tiwari, G. e Mohan, D. (2016). *Evolution Transport Planning & Traffic Safety: Making Cities, Roads & Vehicles Safer*.
- Wang, J. et al. (2006). "Operating-Speed Model for Low-Speed Urban Tangent Streets Based on in-Vehicle Global Positioning System Data." *Transportation Research Record* : 24–33.