



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

THIAGO VINÍCIUS LOURO

**ANÁLISE DOS FATORES QUE INFLUENCIAM A DISTÂNCIA
LATERAL E A VELOCIDADE DE ULTRAPASSAGEM ENTRE
VEÍCULOS MOTORIZADOS E CICLISTAS**

Londrina
2021

THIAGO VINÍCIUS LOURO

**ANÁLISE DOS FATORES QUE INFLUENCIAM A DISTÂNCIA
LATERAL E A VELOCIDADE DE ULTRAPASSAGEM ENTRE
VEÍCULOS MOTORIZADOS E CICLISTAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Prado da Silva Júnior

Londrina
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

L892 Louro, Thiago Vinícius .
ANÁLISE DOS FATORES QUE INFLUENCIAM A DISTÂNCIA LATERAL E A VELOCIDADE DE ULTRAPASSAGEM ENTRE VEÍCULOS MOTORIZADOS E CICLISTAS / Thiago Vinícius Louro. - Londrina, 2021.
91 f.

Orientador: Carlos Alberto Prado da Silva Júnior.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2021.
Inclui bibliografia.

1. Distância de ultrapassagem - Tese. 2. Velocidade de ultrapassagem - Tese. 3. Segurança Cicloviária - Tese. 4. Ciclismo - Tese. I. da Silva Júnior, Carlos Alberto Prado. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU 62

THIAGO VINÍCIUS LOURO

**ANÁLISE DOS FATORES QUE INFLUENCIAM A DISTÂNCIA
LATERAL E A VELOCIDADE DE ULTRAPASSAGEM ENTRE
VEÍCULOS MOTORIZADOS E CICLISTAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de mestre.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Prado da
Silva Júnior
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. André Luiz Barbosa Nunes da Cunha
Universidade de São Paulo - USP

Profa. Dra. Thais de Cassia Martinelli Guerreiro
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

Londrina, 12 de Março de 2021.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por dar a saúde necessária e por colocar as pessoas certas no meu caminho .

Aos meus pais, Maria Inês Louro e Érico Luiz Louro, e ao meu irmão, Gabriel Henrique Louro, pelo apoio incessante e amor infinito.

À Beatriz Tavares, companheira de todos os momentos, sem a qual essa realização não seria possível, por estar sempre ao meu lado, por me incentivar e pelo amor constante.

Ao meu orientador, Professor Dr. Carlos Alberto Prado da Silva Junior, meu maior incentivador, por todos os anos de orientação e pelos ensinamentos, de vida e acadêmicos, sem os quais eu não teria chegado até aqui.

À Professora Dra. Heliana Barbosa Fontenele, pelas sugestões e pelo incentivo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

A Universidade Estadual de Londrina, ao Centro de Tecnologia e Urbanismo, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e ao Laboratório de Engenharia de Transportes (LET-CTU), pela infraestrutura e apoio institucional disponibilizados.

“Viver é como andar de bicicleta. É preciso estar em constante movimento para manter o equilíbrio.”

Albert Einstein

LOURO, Thiago Vinícius. **Análise Dos Fatores Que Influenciam A Distância Lateral E A Velocidade De Ultrapassagem Entre Veículos Motorizados E Ciclistas**. 2021. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

RESUMO

A ausência de infraestrutura cicloviária faz com que os ciclistas tenham de compartilhar as vias com veículos motorizados, o que contribui para aumentar a percepção de risco. O objetivo deste trabalho foi identificar os fatores que influenciam na distância lateral e na velocidade de ultrapassagem entre veículos motorizados e ciclistas. Para a coleta dos dados, foi utilizada uma bicicleta instrumentada com um dispositivo composto de dois microcontroladores, sensor de distância ultrassônico, GPS, radar de velocidade e cartão micro-SD, além de uma câmera *GoPro®* e um GPS Garmin *Edge*. O experimento foi realizado em uma rota fixa, na área urbana da cidade de Londrina-PR. Para determinar se as variáveis estudadas influenciaram a distância lateral e a velocidade de ultrapassagem, foram realizados testes estatísticos, além da estatística descritiva e gráficos *boxplot*. Foram feitas 36 viagens, nas quais foram identificadas 2032 ultrapassagens. Em relação à distância lateral, foi possível identificar a influência dos fatores: ciclofaixa, limite de velocidade da via, hierarquia viária, tipo do veículo e largura da faixa. A presença de ciclofaixa fez com que a distância lateral de ultrapassagem fosse menor que nos trechos sem ciclofaixa. A distância lateral foi maior nas vias com limite de velocidade de 40 km/h do que nas vias com limite de 50 km/h e 60 km/h. Em relação à hierarquia viária, as distâncias foram menores nas vias arteriais do que nas coletoras e locais. Os dados de distância lateral dos veículos pesados foram menores que dos veículos de passeio e utilitários. Os dados de distância lateral foram maiores nas vias com faixas de 3,0 e 4,0 metros do que nas com faixa de 2,5 e 3,5 metros. Em relação à velocidade de ultrapassagem, foi possível identificar a influência dos seguintes fatores: presença de ciclofaixa, presença de estacionamento, limite de velocidade, hierarquia viária, tipo do veículo e largura da faixa. A velocidade de ultrapassagem foi maior nas vias que possuíam ciclofaixa. A velocidade de ultrapassagem foi maior nas vias sem estacionamento do que nas vias com estacionamento. A velocidade de ultrapassagem das vias com maior limite de velocidade e das vias arteriais foram maiores que os outros grupos. Os veículos pesados foram os que tiveram maior velocidade de ultrapassagem. A velocidade de ultrapassagem nas vias com faixa de 2,5 metros ficou acima das vias com 3,0 e 3,5 metros. As faixas de 3,0 metros ficaram abaixo das de 3,5 e 4,0 metros. Além disso, as faixas com 4,0 metros ficaram acima das faixas com 3,5 metros. A conjugação dos fatores distância lateral e velocidade de aproximação pode criar um ambiente perigoso para o tráfego de ciclistas, o que pode causar acidentes, além de criar uma barreira psicológica que pode impedir que mais pessoas adotem a bicicleta como meio de transporte. Espera-se que os resultados deste trabalho sirvam como fonte de informação para decisões que envolvam a segurança dos ciclistas.

Palavras-chave: distância de ultrapassagem; ciclismo; segurança viária; mobilidade sustentável; transporte não-motorizado.

LOURO, Thiago Vinícius. **Analysis Of Factors That Influence Passing Distance And Overtaking Speed Between Motor Vehicles And Cyclists**. 2021. 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

ABSTRACT

The absence of bicycle infrastructure means that cyclists have to share roads with motorized vehicles, which contributes to increasing risk perception. The objective of this work was to identify the factors that influence lateral distance and overtaking speed between motor vehicles and cyclists. For data collection, an instrumented bicycle was used with a device composed of two microcontrollers, ultrasonic distance sensor, GPS, speed radar and micro-SD card, in addition to a GoPro® camera and a Garmin Edge GPS. The experiment was carried out on a fixed route, in the urban area of the city of Londrina-PR. To determine whether the variables studied influenced lateral distance and overtaking speed, statistical tests were performed, in addition to descriptive statistics and boxplot graphics. 36 trips were made, in which 2032 overtaking were identified. Regarding the lateral distance, it was possible to identify the influence of the factors: cycle lane, speed limit of the road, road hierarchy, vehicle type and lane width. The presence of a cycle lane caused the lateral overtaking distance to be shorter than in stretches without a cycle lane. The lateral distance was greater on roads with a speed limit of 40 km / h than on roads with a limit of 50 km / h and 60 km / h. In relation to the road hierarchy, the distances were shorter on arterial roads than at collectors and locations. Lateral distance data for heavy vehicles was lower than for passenger and utility vehicles. The lateral distance data were higher on roads with ranges of 3.0 and 4.0 meters than on those with ranges of 2.5 and 3.5 meters. Regarding overtaking speed, it was possible to identify the influence of the following factors: presence of a cycle lane, presence of parking, speed limit, road hierarchy, vehicle type and lane width. The speed overtaking data on lanes without a cycle lane was higher than on lanes with a cycle lane. The speed data for roads without parking were higher than those for roads with parking. The data on the speed of passing the roads with the highest speed limit and the arterial roads were higher than the other groups. The overtaking speed data for heavy vehicles was higher than for passenger and utility vehicles. The overtaking speed data on the 2.5 meter lanes were above the 3.0 and 3.5 meter lanes. The data on the 3.0 meter lanes were also below the 3.5 and 4.0 meter lanes. In addition, the 4.0 meter track data was above the 3.5 meter track. The combination of the lateral distance and approach speed factors can create a dangerous environment for cyclist traffic, which can cause accidents, in addition to creating a psychological barrier that can prevent more people from adopting the bicycle as a means of transport. It is expected that the results of this work will serve as a source of information for decisions involving the safety of cyclists.

Keywords: Overtaking distance; Bicycling; Road safety; Sustainable mobility; Non-motorized transport.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Nível de segregação da infraestrutura cicloviária.....	23
Figura 2	Configuração do dispositivo	34
Figura 3	Disposição dos equipamentos na bicicleta.....	36
Figura 4	Distância lateral considerada para a análise de dados	37
Figura 5	Rota percorrida	38
Figura 6	Ciclofaixas ao longo da rota	43
Figura 7	Estacionamentos ao longo da rota.....	44
Figura 8	Limites de velocidade ao longo da rota	45
Figura 9	Hierarquia viária ao longo da rota	46
Figura 10	Larguras de faixa ao longo da rota.....	47
Figura 11	Gráfico de dispersão entre os dados de distância lateral de ultrapassagem e velocidade da bicicleta.....	50
Figura 12	Boxplot dos dados de distância lateral nos trechos com e sem ciclofaixa	52
Figura 13	Boxplot dos dados de distância lateral nos trechos em relação ao limite de velocidade.....	57
Figura 14	Boxplot dos dados de distância lateral separado pela hierarquia viária.....	59
Figura 15	Boxplot dos dados de distância lateral separado pelo tipo do veículo.....	61
Figura 16	Boxplot dos dados de distância lateral separado pela largura da faixa.....	63
Figura 17	Gráfico de dispersão entre os dados de distância lateral de ultrapassagem e velocidade da bicicleta.....	66
Figura 18	Gráfico de dispersão entre os dados de distância lateral de ultrapassagem e velocidade da bicicleta.....	67
Figura 19	Boxplot dos dados de velocidade de ultrapassagem separado pela presença ou não de ciclofaixa	69
Figura 20	Boxplot dos dados de velocidade de ultrapassagem separado pela presença ou não de estacionamento.....	71
Figura 21	Boxplot dos dados de velocidade de ultrapassagem separado pelo limite de velocidade	75

Figura 22	Boxplot dos dados de velocidade de ultrapassagem separado pela hierarquia viária.....	77
Figura 23	Boxplot dos dados de velocidade de ultrapassagem separado pelo tipo do veículo	79
Figura 24	Boxplot dos dados de velocidade de ultrapassagem separado pela largura da faixa.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Teste Shapiro-Wilk dos dados de distância lateral.....	49
Tabela 2	Estatística descritiva dos dados de distância lateral em relação a presença ou não de ciclofaixa	51
Tabela 3	Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney dos dados de distância lateral em relação a presença ou não de ciclofaixa	52
Tabela 4	Estatística descritiva dos dados de distância lateral em relação a presença ou não de estacionamento	53
Tabela 5	Teste Wilcoxon-Mann-Whitney dos dados de distância lateral em relação a presença ou não de estacionamento.....	53
Tabela 6	Estatística descritiva dos dados de distância lateral em relação ao período do dia	54
Tabela 7	Teste Wilcoxon-Mann-Whitney dos dados de distância lateral em relação ao período do dia.....	54
Tabela 8	Estatística descritiva dos dados de distância lateral em relação ao dia da semana.....	55
Tabela 9	Teste Kruskal-Wallis dos dados de distância lateral em relação ao dia da semana.....	55
Tabela 10	Estatística descritiva dos dados de distância lateral em relação ao limite de velocidade.....	56
Tabela 11	Teste Kruskal-Wallis dos dados de distância lateral em relação ao limite de velocidade.....	56
Tabela 12	Teste de Dunn dos dados de distância lateral em relação ao limite de velocidade.....	57
Tabela 13	Estatística descritiva dos dados de distância lateral em relação a hierarquia viária.....	58
Tabela 14	Teste de Kruskal-Wallis dos dados de distância lateral em relação a hierarquia viária	58
Tabela 15	Teste de Dunn dos dados de distância lateral em relação a hierarquia viária.....	59
Tabela 16	Estatística descritiva dos dados de distância lateral em relação ao tipo do veículo	60

Tabela 17	Teste de Kruskal-Wallis dos dados de distância lateral em relação ao tipo do veículo	60
Tabela 18	Teste de Dunn dos dados de distância lateral em relação ao tipo do veículo.....	61
Tabela 19	Estatística descritiva dos dados de distância lateral em relação a largura da faixa	62
Tabela 20	Kruskal-Wallis dos dados de distância lateral em relação a largura da faixa	63
Tabela 21	Teste de Dunn dos dados de distância lateral em relação a largura da faixa	63
Tabela 22	Teste Shapiro-Wilk dos dados de velocidade de ultrapassagem ...	65
Tabela 23	Estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação a presença ou não de ciclofaixa	68
Tabela 24	Teste Wilcoxon-Mann-Whitney dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação a presença ou não de ciclofaixa.....	68
Tabela 25	Estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação a presença ou não de estacionamento.....	70
Tabela 26	Teste Wilcoxon-Mann-Whitney dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação a presença ou não de estacionamento.....	70
Tabela 27	Estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao período do dia.....	72
Tabela 28	Teste Wilcoxon-Mann-Whitney dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao período do dia	72
Tabela 29	Estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao dia da semana	72
Tabela 30	Teste de Kruskal-Wallis dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao dia da semana.....	73
Tabela 31	Estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao limite de velocidade da via.....	73
Tabela 32	Teste de Kruskal-Wallis dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao limite de velocidade da via	74
Tabela 33	Teste de Dunn dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao limite de velocidade da via.....	74

Tabela 34	Estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação a hierarquia viária.....	76
Tabela 35	Teste de Kruskal-Wallis dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação a hierarquia viária.....	76
Tabela 36	Teste de Dunn dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação a hierarquia viária.....	76
Tabela 37	Estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao tipo do veículo.....	78
Tabela 38	Teste de Kruskal-Wallis dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao tipo do veículo.....	78
Tabela 39	Teste de Dunn dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao tipo do veículo.....	78
Tabela 40	Estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação a largura da faixa.....	80
Tabela 41	Teste de Kruskal-Wallis dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação a largura da faixa.....	80
Tabela 42	Teste de Dunn dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação a largura da faixa.....	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CTB	Código Brasileiro de Trânsito
ANTP	Agência Nacional de Transportes Públicos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
GPS	Global Positioning System
IPPUL	Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Londrina
UEL	Universidade Estadual de Londrina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO GERAL	16
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.3	JUSTIFICATIVA	17
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	17
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	SEGURANÇA CICLOVIÁRIA	19
2.1.1	Ciclovias	22
2.1.2	Ciclofaixas	23
2.2	DISTÂNCIA DE ULTRAPASSAGEM	24
2.3.1	Bicicleta Instrumentada	24
2.3.2	Câmera Instalada Em Local Fixo	29
2.3.3	Câmeras E Sensores Dentro Do Veículo Motorizado	30
2.3.4	Simulador De Direção	31
3	MÉTODO	33
3.1	ÁREA DE ESTUDO	33
3.2	CONSTRUÇÃO DO DISPOSITIVO	33
3.3	DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES	35
3.4	COLETA DE DADOS	35
3.4.1	Distância Lateral E Velocidade De Ultrapassagem	35
3.4.2	Coleta De Dados Das Variáveis Independentes	39
3.5	ANÁLISE DOS DADOS	39
3.5.1	Teste De Normalidade	40
3.5.2	Teste Walcoxon-Mann-Whitney	40
3.5.3	Teste Kruskal-Wallis	41
3.5.4	Teste De Dunn	41
4	RESULTADOS	42
4.1	USO DO EQUIPAMENTO	42
4.2	COLETA DE DADOS	42

4.2.1	Presença De Ciclofaixa	42
4.2.2	Presença De Estacionamento	43
4.2.3	Limite De Velocidade	45
4.2.4	Hierarquia Viária	46
4.2.5	Largura Da Faixa	47
4.3	DISTÂNCIA LATERAL DE ULTRAPASSAGEM	48
4.3.1	Teste De Normalidade	48
4.3.2	Velocidade Da Bicicleta	50
4.3.3	Presença De Ciclofaixa	51
4.3.4	Presença De Estacionamento	53
4.3.5	Período Do Dia	54
4.3.6	Dia Da Semana	55
4.3.7	Limite De Velocidade	56
4.3.8	Hierarquia Viária	57
4.3.9	Tipo Do Veículo	60
4.3.10	Largura Da Faixa	62
4.4	VELOCIDADE DE ULTRAPASSAGEM	64
4.4.1	Teste De Normalidade	64
4.4.2	Distância Lateral De Ultrapassagem	66
4.4.3	Velocidade Da Bicicleta	67
4.4.4	Presença De Ciclofaixa	67
4.4.5	Presença De Estacionamento	69
4.4.6	Período Do Dia	71
4.4.7	Dia Da Semana	72
4.4.8	Limite De Velocidade	73
4.4.9	Hierarquia Viária	75
4.4.10	Tipo Do Veículo	77
4.4.11	Largura Da Faixa	79
5	CONCLUSÕES	82
	REFERÊNCIAS	86

1 INTRODUÇÃO

O padrão de mobilidade da população brasileira passou por importantes modificações desde meados do século XX. O processo de urbanização e o crescimento desordenado das cidades acabaram por provocar um uso cada vez mais intenso do transporte motorizado individual pela população (Ipea, 2010). As condições de mobilidade da população dos grandes centros urbanos têm piorado nos últimos anos, com o aumento do uso de transporte individual motorizado e, conseqüentemente, a redução das viagens do transporte público. O crescimento dos acidentes de trânsito com vítimas, dos congestionamentos urbanos e também dos poluentes veiculares podem ser citados como resultados dessa piora da mobilidade (Carvalho, 2011).

Nos últimos anos, o uso da bicicleta tem sido apresentado como alternativa aos sistemas de transporte tradicionais. Isso ocorre devido ao seu potencial de reduzir as demandas do tráfego motorizado, por seus benefícios ambientais e de saúde e pela redução de custos para o usuário e para o sistema como um todo. A bicicleta oferece vantagens em relação a outros modos de transporte, como: redução de tempo de viagem em distâncias curtas; baixo custo para o usuário; redução de congestionamentos; diminuição da poluição do ar e dos custos de manutenção das vias (Fruhen e Flin, 2015; Shackel e Parkin, 2014; Zeuwts *et al.*, 2016).

O ciclismo, um modo de transporte ativo, tem inúmeros benefícios à saúde, ambientais e sociais (Celis-Morales *et al.*, 2017; Mueller *et al.*, 2015). Por exemplo, o deslocamento de bicicleta está associado a um risco 41% menor de mortalidade por todas as causas e 45% menor risco de incidência de câncer (Celis-Morales *et al.*, 2017). A utilização da bicicleta oferece vários benefícios para o indivíduo: melhora o condicionamento físico, aumenta a capacidade cardiorrespiratória, reduz o risco de desenvolver doenças cardiovasculares, obesidade e depressão (Damant-Sirois e El-Geneidy, 2015; Wang *et al.*, 2014; Braun *et al.*, 2016).

Apesar de todos os benefícios, a bicicleta ainda é pouco utilizada no Brasil. Um estudo da Associação Nacional de Transportes Públicos - ANTP (2016) realizado nas cidades brasileiras com mais de 60 mil habitantes indicou que apenas 2% do total de deslocamentos é feito por bicicleta nessas cidades.

Os estudos de Chataway *et al.* (2014) e Hull e O'Holleran (2014) mostram que, entre todos os impedimentos ao ciclismo, o principal é a segurança. Estudos anteriores observaram que as condições de tráfego e veículos motorizados que dirigem próximos aos ciclistas aumentam o risco subjetivo e criam uma barreira à participação no ciclismo (Heesch *et al.*, 2011; Chataway *et al.*, 2014)

A percepção de segurança está diretamente ligada com a existência de infraestrutura cicloviária (Parkin e Meyers, 2010). Isso pode estar relacionado à interação da bicicleta com o tráfego de veículos (Hull e O'Holleran, 2014). A ausência de infraestrutura cicloviária, como ciclovias e ciclofaixas, faz com que os ciclistas tenham de compartilhar as vias com veículos motorizados, o que aumenta o potencial de colisões e de situações perigosas para o ciclista. No entanto, é difícil evitar situações em que o ciclista tem de compartilhar a via, devido às descontinuidades das infraestruturas cicloviárias, especialmente nas áreas urbanas.

O presente estudo utilizou uma bicicleta equipada com um conjunto de sensores e uma câmera. Foram realizadas 36 viagens por um único ciclista, de modo que fossem obtidas a distância lateral e a velocidade de ultrapassagem entre a bicicleta e os veículos motorizados. O objetivo do trabalho foi identificar fatores que influenciam nessas medidas. Para isso, foi selecionado um conjunto de variáveis, de modo que fosse possível determinar, por meio de testes estatísticos, quais variáveis influenciaram nos dados de distância lateral e velocidade de ultrapassagem.

1.1 OBJETIVO GERAL

Identificar os fatores que influenciam na distância lateral e na velocidade de ultrapassagem entre veículos motorizados e um ciclista.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir um dispositivo para medir a distância lateral e a velocidade de ultrapassagem entre veículos motorizados e um ciclista
- Verificar a efetividade da regra que impõe uma distância mínima de 1,5 metros entre veículos motorizados e ciclistas

- Identificar quais são os fatores que mais influenciam a distância lateral de ultrapassagem e na velocidade de ultrapassagem dos veículos motorizados

1.3 JUSTIFICATIVA

Uma das situações perigosas mais relatadas por ciclistas são os motoristas que trafegam próximos demais da bicicleta (Heesch *et al.*, 2011). Trafegar muito próximo à bicicleta foi o quase acidente mais relatado em pesquisas nos EUA (Sanders, 2015) e Austrália (Poulos *et al.*, 2017) e o segundo incidente mais relatado em uma pesquisa no Reino Unido (Aldred e Crossweller, 2015). Parkin *et al.* (2007) argumentaram que ultrapassagens muito próximas à bicicleta, mesmo as que não resultam em colisões, fazem com que os ciclistas se sintam inseguros e os desencorajam a andar de bicicleta.

Em resposta, leis de distância mínima de ultrapassagem foram implementadas em países como EUA, França, Portugal, Espanha, Austrália, entre outros. Geralmente, essas leis exigem que os motoristas deixem pelo menos um metro (ou três pés) ao passar em zonas de baixa velocidade e 1,5 m nas zonas de alta velocidade (Debnath *et al.*, 2018).

Parece não haver consenso quanto aos fatores que influenciam a distância de ultrapassagem e sobre qual a melhor forma de captar dados referentes à ultrapassagem de veículos motorizados em relação aos ciclistas. Além disso, não foi encontrado na literatura nenhum estudo realizado no Brasil ou na América Latina com essa temática, lugares com características de tráfego diferentes de países da Europa e dos EUA, local da maioria dos estudos realizados. Portanto, quantificar a distância lateral de ultrapassagem dos veículos motorizados em relação aos ciclistas e identificar fatores que influenciam a dinâmica de ultrapassagem é fundamental para a elaboração de soluções que aumentem a segurança dos ciclistas nas vias e que, conseqüentemente, aumentem a participação do ciclismo na divisão modal.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esse trabalho está dividido em 5 tópicos que se encontram

organizados da seguinte maneira:

Tópico 1: Introdução do assunto, bem como a justificativa e os objetivos que pretendem ser alcançados com a elaboração do trabalho.

Tópico 2: Revisão da literatura, onde são abordados os referenciais que fornecem suporte para a elaboração da pesquisa.

Tópico 3: Método utilizado no experimento

Tópico 4: Resultados e análise dos dados

Tópico 5: Conclusões

2 REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção está dividida em dois tópicos: i) aspectos relacionados a segurança cicloviária e ii) distância de ultrapassagem.

2.1 SEGURANÇA CICLOVIÁRIA

Pesquisas anteriores utilizaram principalmente quatro métodos diferentes para investigar a segurança cicloviária: i) pesquisas ou entrevistas com ciclistas; ii) análise de estatísticas de acidentes ou investigações aprofundadas de acidentes; iii) dados de hospitais e iv) observação local.

Em pesquisas ou entrevistas, pede-se aos ciclistas que recuperem da memória situações críticas de segurança (Bacchieri *et al.*, 2010; Chaurand e Delhomme, 2013). Esses métodos ajudam a obter uma visão das experiências subjetivas dos ciclistas e a identificar os fatores que influenciam a sensação de insegurança. Chaurand e Delhomme (2013) descobriram que os ciclistas relatam um nível mais alto de insegurança com o comportamento arriscado de motoristas de veículos motorizados (não dar preferência, não sinalizar ao virar, dirigir muito próximo, cruzar o sinal vermelho) em comparação com o mesmo comportamento de outros ciclistas. As rotatórias também são percebidas como uma causa de insegurança, especialmente quando um carro entra ou sai enquanto um ciclista se move (Møller & Hels, 2008).

Apesar de importantes, as pesquisas subjetivas podem ser enviesadas, já que tratam da experiência pessoal do ciclista. Segundo Bacchieri *et al.* (2010), uma das consequências das pesquisas subjetivas pode ser uma subnotificação de eventos menos graves. Outro problema que pode levar a distorções sistemáticas nos dados, é a tendência de o entrevistado ocultar seu próprio comportamento de risco.

A investigação de estatísticas de acidentes baseadas em registros policiais fornece uma abordagem mais objetiva para avaliar fatores de risco em acidentes de bicicleta, como pode ser visto em Boufous *et al.* (2012) e Martínez-Ruiz *et al.* (2013). Os principais fatores de risco que foram identificados através da investigação de acidentes incluem traços e estados específicos do motociclista e do motorista (idade, intoxicação), cruzamentos, ciclovias específicas e manobras de

direção (ultrapassagem, travessia), curvas, velocidade, condições ambientais (condições visuais) e o estado da bicicleta (sem iluminação, freios defeituosos) (Boufous *et al.*, 2012; Daniels *et al.*, 2006; Martínez-Ruiz *et al.*, 2013; Orsi *et al.*, 2014). Esses fatores têm sido associados a acidentes mais frequentes e/ou mais graves. No entanto, os relatórios de acidentes contam com relatos retrospectivos do incidente. Eles são propensos a várias formas de viés, o que levanta questões sobre a interpretação das descobertas com base nessas estatísticas. Além disso, embora se possa presumir que acidentes fatais são totalmente capturados nessas estatísticas, a subnotificação potencial de tipos específicos de acidentes não fatais deve ser considerada um problema sério (OCDE/International Transport Forum, 2012; Tin Tin *et al.*, 2013).

É muito provável que acidentes menores sem parceiros de conflito gravemente feridos permaneçam sem documentos (Elvik & Mysen, 1999). Da mesma forma, acidentes com veículos não motorizados geralmente não são denunciados à polícia e, portanto, não aparecem nas estatísticas oficiais (Twisk & Reurings, 2013). De acordo com De Geus *et al.* (2012), apenas 7% dos acidentes de bicicleta não graves (ferimentos leves que levam à hospitalização) são registrados nas estatísticas oficiais de acidentes na Bélgica. De Mol e Lammar (2006) mostraram que apenas 50% dos acidentes de trânsito nos quais os ciclistas são hospitalizados são relatados nas estatísticas policiais europeias. Essa subnotificação pode levar a um viés severo nas estatísticas, já que as diferenças entre acidentes de bicicleta como aparecem nas estatísticas oficiais de acidentes e dados de lesões de bicicleta são coletadas pelos hospitais (Lopez *et al.*, 2012).

Comparados às investigações de acidentes, os dados hospitalares podem contribuir para uma melhor compreensão dos acidentes (Juhra *et al.*, 2012). Esses conjuntos de dados contêm muitas informações que também são encontradas nos relatórios de acidentes, mas também incluem incidentes que não são graves o suficiente para serem relatados à polícia. Além disso, incluem informações detalhadas sobre as consequências de acidentes, como a gravidade do acidente e o tipo de lesão específico (Dennis *et al.*, 2013; Short & Caulfield, 2014). No entanto, como as investigações de acidentes, os dados do hospital são propensos a vieses, pois também contam com relatos retrospectivos do incidente. E, embora uma porcentagem maior de acidentes gerais seja incluída, os pesquisadores criticaram esses dados

porque as informações sobre tratamento ambulatorial geralmente não são incluídas (Teschke *et al.*, 2012).

Embora uma combinação de dados hospitalares e estatísticas de acidentes possa certamente fornecer uma imagem mais abrangente (Twisk & Reurings, 2013), permanece o problema de que o incidente em questão não foi realmente observado ou registrado por uma parte independente. Os estudos observacionais geralmente não sofrem com esses vieses. Geralmente, as câmeras são colocadas em locais ocultos para observar ambientes definidos, como cruzamentos (Bai *et al.*, 2013; Monsere *et al.*, 2012) ou ruas de mão única (Bjørnskau *et al.*, 2012). Esse método é especialmente útil para investigar pontos cegos de acidentes ou fenômenos específicos como o ultrapassar o sinal vermelho (Johnson *et al.*, 2011).

Estudos observacionais sobre acidentes de bicicleta com carros em curva descobriram que falta de visão ou verificação de ombros pelo motorista (Kolrep-Rometsch *et al.*, 2012), pode ser responsabilizado por um grande número de acidentes. Observações de ciclovias mostraram que a travessia de pedestres era o fator de conflito mais comum (Van der Horst *et al.*, 2014). No entanto, como os ciclistas e seu comportamento fora do ambiente predefinido não são observáveis, a abordagem não pode fornecer uma imagem completa das situações perigosas de tráfego. Por exemplo, é possível que na observação de cruzamentos, a proporção de conflitos com o tráfego motorizado possa ser maior em comparação com a participação de tais conflitos no geral. Os estudos de campo sobre o comportamento do tráfego representam uma abordagem promissora para superar as limitações dos métodos acima mencionados. Os chamados estudos de condução naturalista (NDS) usaram câmeras e sensores para registrar o comportamento dos motoristas em seu ambiente cotidiano e a obter dados que não são contaminados por manipulação experimental ou pela presença aparente de um pesquisador

No que diz respeito à legislação, a resolução 46, do ano de 1998 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), estabelece os Equipamentos de Proteção Individuais (EPIs) obrigatórios a partir de 01 de janeiro de 2000, para bicicletas cujo tamanho do aro seja vinte ou superior. São eles:

- Espelho retrovisor do lado esquerdo, acoplado ao guidom e sem haste de sustentação;

- campainha, entendido como tal o dispositivo sonoro mecânico, eletromecânico, elétrico, ou pneumático, capaz de identificar uma bicicleta em movimento;

- sinalização noturna, composta de retrorrefletores na dianteira da bicicleta (na cor branca ou amarela), na traseira (cor vermelha), nas laterais e nos pedais (qualquer cor).

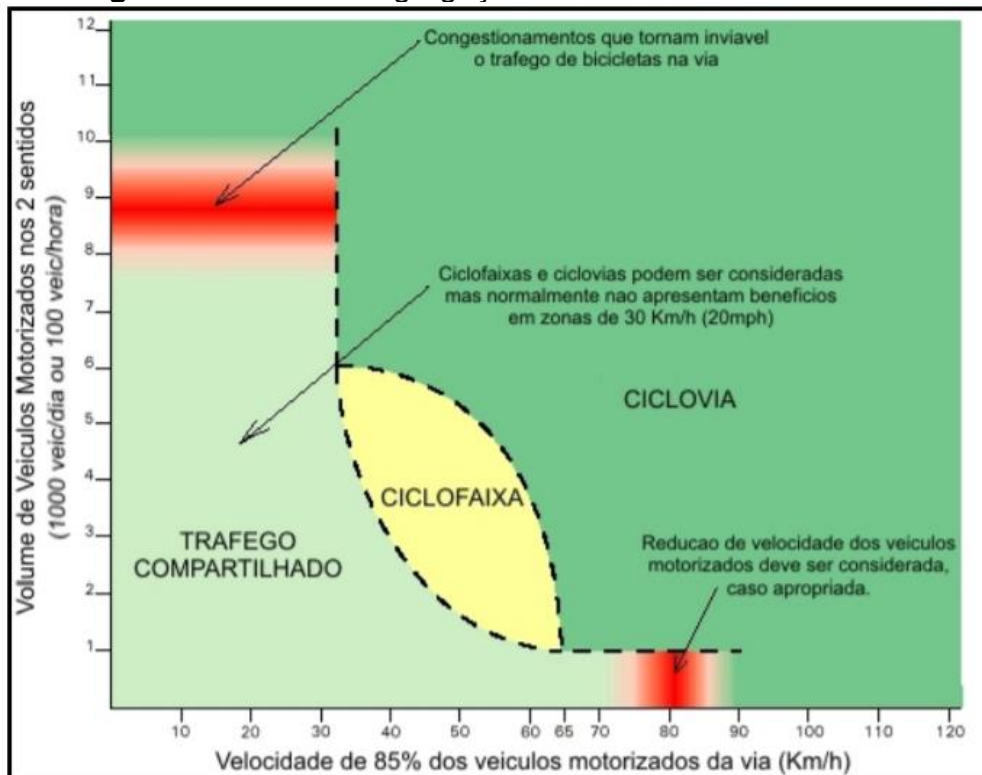
A seguir são descritas as duas principais infraestruturas cicloviárias:

i) ciclovias e ii) ciclofaixas.

2.1.1 Ciclovias

As ciclovias são espaços totalmente segregados das vias de tráfego de veículos motorizados específicas para o tráfego de bicicletas, exceto nas interseções. É bastante comum que as ciclovias possuam um pavimento com cor vermelha, que serve para demarcar o espaço exclusivo dos ciclistas. A segregação normalmente se dá através de um meio fio ou canteiro (AASHTO, 2012; RIO DE JANEIRO, 2014; SUSTRANS, 2014).

Ciclovias são espaços mais seguros e confortáveis para os ciclistas, porém o custo construtivo e o espaço requerido para sua implantação são fatores que podem dificultar a sua adoção (Araújo, 2014). O volume de tráfego motorizado e a velocidade média de uma via pode influenciar a decisão sobre a necessidade de instalação de uma ciclovia, segregando os ciclistas do tráfego motorizado, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Nível de segregação da infraestrutura cicloviária

Fonte: Teramoto (2008)

2.1.2 Ciclofaixas

As ciclofaixas são faixas exclusivas para tráfego de bicicletas nas pistas de rolamento. Geralmente são separadas por pintura, podendo também ser sinalizadas por elementos protetores específicos como taxões ou calotas. Em vias cuja pista de rolamento possua estacionamento de veículos, indica-se que a ciclofaixa se situe entre o meio fio e a faixa destinada ao estacionamento (GEIPOT, 2001; AASHTO, 2012; RIO DE JANEIRO, 2014).

Em geral, as ciclofaixas têm um custo reduzido de construção se comparadas às ciclovias. Esta redução pode ser de até 75% do custo e se dá devido ao aproveitamento dos pavimentos já consolidados. Também são levados em conta na redução de custos o uso de outros dispositivos de infraestrutura urbana já instalados como o sistema de drenagem e a iluminação pública (Miranda, 2009). A utilização de ciclofaixas é indicada para vias locais em que o uso do solo é misto entre residencial e comercial, pois possibilitam nesse caso mais veículos motorizados circulando em comparação com as ciclovias e maior acessibilidade às residências e ao comércio (Gondim, 2010). Conforme a figura 1 pode-se perceber que, na relação

entre volume de tráfego e velocidade média, a ciclofaixa é indicada para vias com velocidades médias de até 20 milhas por hora (equivalente a 32 quilômetros por hora) e tráfego diário entre 6.500 e 10.000 veículos por dia. Em muitos casos as ciclofaixas são implantadas a partir das “sobras” de largura das faixas de tráfego.

2.2 DISTÂNCIA DE ULTRAPASSAGEM

A distância lateral de um veículo motorizado ao ultrapassar uma bicicleta e os possíveis fatores que influenciam essa distância foram objetos de diversas pesquisas nos últimos anos. É possível estabelecer ao menos quatro métodos principais que foram utilizados nesses estudos: i) bicicleta equipada com sensor de distância lateral e outros equipamentos, como, por exemplo, GPS e câmera; ii) câmera instalada em um local fixo; iii) câmeras e sensores instalados dentro dos veículos motorizados e iv) simulador de direção. A seguir são apresentados estudos com esses diferentes métodos, com os principais fatores estudados, além de um resumo das conclusões realizadas.

2.3.1 Bicicleta instrumentada

Beck *et al.* (2019) desenvolveram um dispositivo composto por microprocessador Arduino, GPS e sensor de distância ultrassônico. O dispositivo foi construído de forma que fosse possível fixá-lo em diferentes bicicletas. Os autores buscaram relacionar a distância lateral de ultrapassagem com a presença de ciclofaixa, presença de estacionamento para veículos motorizados, posição da bicicleta no momento da ultrapassagem, se no meio da quadra ou em uma interseção, o tipo do veículo (veículo de passeio, utilitário, ônibus, caminhão, táxi) e o limite de velocidade da via. O experimento foi realizado em Victória, Austrália. Foram recrutados 60 participantes, os quais utilizaram o dispositivo fixo na própria bicicleta por um período que variou entre uma e duas semanas. Foi registrado um total de 18527 eventos de ultrapassagem. A média da distância lateral foi de 173 cm e 5,9% das ultrapassagens foram feitas com distância lateral menor do que 1,0 metro, que é mínimo indicado por lei no local do estudo. Os autores concluíram que a distância lateral de ultrapassagem foi menor nos trechos com ciclofaixa e com estacionamento,

o que indica que apenas a presença de ciclofaixa pode não ser suficiente para garantir a segurança dos ciclistas. Em relação ao tipo de veículo, utilitários e ônibus foram os que deixaram menor distância lateral. Não houve diferença entre as vias com diferentes limites de velocidade.

Shackel e Parkin (2014) utilizaram uma bicicleta equipada com sensor de distância ultrassônico e câmera na parte frontal e lateral. Foi registrada a distância lateral de ultrapassagem e a velocidade do veículo durante a ultrapassagem. O experimento foi realizado na área urbana, em uma rota fixa escolhida pelos pesquisadores. Os resultados revelaram que em faixas de tráfego mais estreitas com limites de velocidade mais baixos e sem marcações na linha central, as velocidades de ultrapassagem eram menores. Os motoristas também passavam mais devagar se estavam dirigindo um veículo longo ou em um pelotão. Vias mais largas levaram a maiores distâncias de ultrapassagem, mas também a maiores velocidades de ultrapassagem. Velocidades de ultrapassagem mais altas podem levar a uma maior instabilidade do ciclista devido à turbulência. Além disso, velocidades de ultrapassagem mais altas podem causar ferimentos mais graves no caso de um acidente. A presença de estacionamento e de veículo no sentido oposto reduziram a distância de ultrapassagem dada pelos veículos motorizados. Os autores não encontraram diferenças nas distâncias de ultrapassagem entre carros, táxis e veículos leves e de veículos longos (caminhões e ônibus).

Love *et al.* (2012) usaram uma bicicleta instrumentada equipada com câmeras de vídeo e mediram a distância lateral de ultrapassagem a partir das imagens de vídeo. O experimento foi conduzido por 5 ciclistas na área urbana, nas rotas em que os ciclistas já utilizavam normalmente. Os autores avaliaram o nível de conformidade dos motoristas de Baltimore (EUA) com a “lei dos três pés”, que exige que os veículos motorizados passem por ciclistas com uma folga superior a três pés (cerca de 1 metro), promulgada pelo estado de Maryland. Verificou-se que faixas de tráfego mais largas aumentam as velocidades dos veículos e a probabilidade de ultrapassagem, bem como aumentam a distância de ultrapassagem entre o veículo e o ciclista. Eles descobriram que ultrapassagens com distância lateral menor do que um metro era comum em faixas padrão e faixas com marcação de via compartilhada, mas não nas ruas com ciclovias (todas as ciclovias tinham 5 pés de largura). Além disso, eles tentaram ajustar um modelo de regressão linear à distância de

ultrapassagem. O modelo apresentou um R^2 de 0,26, para o qual as variáveis significativas foram: largura da faixa (explicando 9% da variância na distância de passagem com $p < 0,0001$), presença de ciclovias (explicando 8% com $p < 0,0001$), qual ciclista realizou o experimento (explicando 7% com $p < 0,0001$) e tipo de via (explicando 10% com $p < 0,0001$).

Stewart e McHale (2014) utilizaram uma bicicleta equipada com um conjunto de câmeras para medir a distância lateral de ultrapassagem dos veículos em relação ao ciclista. O experimento foi conduzido em área urbana, por apenas um ciclista, em uma via selecionada previamente. Os autores desenvolveram dois modelos lineares generalizados (GLM) para verificar a distância de ultrapassagem oferecida às bicicletas. Constatou-se que vários fatores estão relacionados à distância de passagem, incluindo veículos no sentido oposto, largura efetiva da pista, largura da infraestrutura cicloviária, velocidade da bicicleta, limite de velocidade da via, estacionamento próximo e do lado oposto, e a presença da ilha de tráfego.

Parkin e Meyers (2010) utilizaram uma bicicleta equipada com um conjunto de câmera para medir a distância de ultrapassagem dos veículos em relação ao ciclista. Os autores analisaram o efeito da presença de ciclofaixa na distância de ultrapassagem dos veículos em três vias diferentes com a mesma largura geral (cerca de 9,50 m), limites de velocidade diferentes (48 km/h, 64 km/h 80km/h) e com e sem ciclofaixa (a largura da ciclofaixa foi de 1,45 metros em estradas com limite de velocidade de 64km/h e 80km/h, e de 1,30 metros em estradas com limite de velocidade de 48km/h). Folgas laterais significativamente maiores foram adotadas pelos motoristas na condição sem ciclofaixa de 1,45 m, com limites de velocidade de 64 km/h e 80km/h. Este resultado não foi obtido para a via com um limite de velocidade registrado de 48km/h e uma ciclofaixa de 1,3 m. Os autores sugerem que onde há a presença de infraestrutura cicloviária, os motoristas podem se sentir mais confortáveis em passar mais próximos aos ciclistas.

Chapman e Noyce (2012, 2014) usaram uma bicicleta equipada com duas câmeras e um sensor ultrassônico para medir a distância dos veículos que ultrapassavam. Os autores analisaram a influência de várias características das estradas rurais no comportamento dos motoristas durante a ultrapassagem de ciclistas. Eles descobriram que um fator significativo que influenciava positivamente a distância da folga lateral da bicicleta era a presença e a largura do acostamento.

Walker *et al.* (2014) desenvolveram uma bicicleta equipada com um sensor de distância ultrassônico conectado a um microcontrolador Arduino e uma câmera de vídeo. Os autores registraram a distância lateral deixada pelos motoristas ao ultrapassarem uma bicicleta em diferentes tipos de estradas (estradas rurais eram 44% da amostra), a fim de estudar se a aparência do ciclista mudava o comportamento dos motoristas. Foi realizada uma comparação entre sete tipos diferentes de trajas. Os autores descobriram que apenas um colete de alta visibilidade, claramente identificado como "POLICEwitness.com - Move Over - Camera Cyclist", o que sugeria que o comportamento do motorista estava sendo gravado em vídeo, resultou em uma maior distância de passagem. Não houve diferença na distância deixada para os ciclistas cujo traje foi rotulado como "piloto" ou "novato". Os autores observaram que a possibilidade de o piloto evitar ultrapassagens apertadas alterando sua aparência não é suficiente; por outro lado, as medidas infraestruturais, educacionais ou legais podem ser mais eficazes na prevenção de ultrapassagens apertadas e, portanto, uma situação perigosa para o ciclista.

Walker (2007) utilizou uma bicicleta equipada com um sensor de distância ultrassônico e uma câmera de vídeo para coletar dados sobre a proximidade dos motoristas com o ciclista durante manobras de ultrapassagem em várias vias no Reino Unido. O autor investigou a influência do uso do capacete, bem como o efeito do gênero aparente do ciclista, da roupa do ciclista e da posição da bicicleta no momento da ultrapassagem. Uma amostra de 2355 manobras foi analisada. Eles descobriram que ultrapassar veículos motorizados tendia a fornecer mais espaço lateral aos ciclistas percebidos como mulheres do que homens e menos espaço quando os ciclistas usavam capacete. Verificou-se também que os veículos grandes que passavam eram particularmente propensos a deixar um espaço lateral estreito para os ciclistas. O estudo indica que quanto mais longe da margem da estrada um ciclista estiver andando, maior será a probabilidade de um evento de ultrapassagem com menor distância lateral. O autor recomenda, portanto, que os ciclistas não andem muito longe da beira da estrada. Por outro lado, andar muito perto da beira da estrada pode trazer obstáculos mais potencialmente perigosos para o caminho do ciclista, como grades de drenagem, detritos da estrada e portas de carros.

Llorca *et al.* (2017) utilizaram duas bicicletas equipadas com telêmetros a laser, um rastreador GPS e três câmeras de vídeo. O experimento foi realizado ao

longo de sete segmentos de estradas rurais na Espanha. Os pesquisadores coletaram dados sobre a folga lateral entre o veículo motorizado e a bicicleta, a velocidade e o tipo do veículo, sua ocupação na faixa esquerda, a interação com o tráfego no sentido oposto e a segurança percebida pelos ciclistas. A análise dos dados revelou que os fatores combinados de folga lateral, tipo de veículo e velocidade do veículo foram mais significativamente correlacionados com o risco percebido pelos ciclistas do que a folga lateral sozinha. Veículos pesados mantiveram folgas mais baixas para os ciclistas do que carros de passageiros. Os autores também concluíram que os atuais padrões de distância lateral (1,5 m a 50 km/h na Espanha) não são suficientes para garantir manobras de ultrapassagem seguras, pois não são responsáveis por outros fatores, como a velocidade de ultrapassagem ou a presença de veículos pesados. Os resultados mostraram que a folga lateral de passagem entre o veículo e o ciclista aumentou com a largura da estrada. Verificou-se também que, embora a interação com o ciclista tenha levado a uma tendência de redução de velocidade, em alguns segmentos da estrada a velocidade era comparável à da condição de fluxo livre nos mesmos locais.

Dozza *et al.* (2016) utilizaram uma bicicleta elétrica equipada com um LIDAR e duas câmeras, registraram 145 manobras de ultrapassagem realizadas por motoristas de carros e caminhões em estradas rurais na Suécia. Os autores constataram que o tráfego no sentido oposto teve maior impacto na zona de conforto do ciclista, enquanto a velocidade do veículo, a largura da faixa, a largura dos acostamentos e o limite de velocidade regulamentado não afetaram significativamente a zona de conforto do ciclista. Mehta *et al.* (2015) utilizaram uma bicicleta equipada com sensor de distância ultrassônico, microcontrolador, GPS e uma câmera acoplada no guidão. O estudo foi realizado na área urbana, em vias com diferentes características. O resultado mostrou que as vias com ciclovias proporcionaram maior separação entre bicicletas e automóveis. Também foi possível perceber que em vias arteriais sem ciclovias nas ruas, os motoristas tendem a fornecer mais folga lateral para ultrapassar as bicicletas, mudando de faixa ou invadindo a faixa ao lado.

Chuang *et al.* (2013) utilizaram uma bicicleta equipada com GPS, um conjunto de câmeras, dois sensores de distância ultrassônicos e um equipamento multifuncional, com acelerômetro e giroscópio. O objetivo era investigar os fatores que afetam a distância lateral dos motoristas em relação aos ciclistas. O estudo foi

realizado por 16 homens e 18 mulheres, os quais percorreram uma rota urbana perto de um campus universitário de Taiwan. As distâncias laterais médias quando o veículo a motor se aproximou e passou pelos ciclistas foram significativamente maiores para as mulheres do que para os ciclistas do sexo masculino (na abordagem: 167 cm versus 150 cm; durante a passagem: 165 cm versus 149 cm, respectivamente). O estudo mostrou que a distância lateral durante os eventos de ultrapassagem era menor para motocicletas do que para carros e caminhões pequenos. Além disso, concluíram que a presença das ciclovias resultou em maiores distâncias laterais entre os ciclistas e os veículos que passavam.

2.3.2 Câmera instalada em local fixo

Kay *et al.* (2014) utilizaram câmeras de vídeo para analisar o efeito de uma sinalização vertical com a frase “Compartilhe a Estrada”. Os autores verificaram o comportamento do motorista durante a manobra de ultrapassagem em dois segmentos de uma estrada rural de duas faixas e alta velocidade (limite de velocidade de 80km/h). Verificou-se que a sinalização era ineficaz no aumento da distância de passagem e que o número de ultrapassagens inseguras (com distância lateral inferior a 1,52 m ou 5 pés) permaneceu relativamente o mesmo antes e após a instalação dos sinais. O tipo de veículo, a posição do ciclista, a presença de faixas de ruído na linha central e o tráfego no sentido oposto são significativos na determinação da distância de ultrapassagem. O estudo destacou que a velocidade média dos veículos foi ligeiramente reduzida na presença da sinalização.

Debnath *et al.* (2018) utilizaram câmeras fixas para observar 15 locais na área urbana de Queensland, Austrália. Segundo os autores, a probabilidade de um condutor não respeitar a distância lateral mínima de ultrapassagem (de 1 metro em vias com limite de 60 km/h ou menos, e 1,5 metro em vias com limite acima de 60 km/h) em relação a um ciclista aumenta para velocidades a partir de 70 a 80 km/h e diminui para velocidades inferiores a 40 km/h, em vias com velocidade máxima de operação de 60 km/h. Além disso, trechos em curvas horizontais e verticais e faixas de tráfego estreitas influenciam significativamente as distâncias laterais de ultrapassagem. Por outro lado, as características dos ciclistas relacionadas à idade, sexo, uso de capacete, tipo de roupa e tipo de bicicleta não apresentaram correlação

estatisticamente significativa para os eventos de ultrapassagem. Os autores sugerem que os esforços para melhorar a segurança dos ciclistas durante os eventos de ultrapassagem devem se concentrar nas características da infraestrutura da via.

Apasnore *et al.* (2017) utilizaram câmeras fixas para coletar dados de distância lateral entre veículos motorizados e bicicletas durante o momento da ultrapassagem e da velocidade do veículo em seis vias na área urbana de Ottawa, Canadá. O resultado mostrou que 90% das ultrapassagens foram maiores do que 1,23 metros e a distância de ultrapassagem foi positivamente correlacionada com a velocidade dos automóveis, a largura da pista e a posição da bicicleta na linha adjacente do meio-fio, e inversamente correlacionada com a densidade do tráfego ambiente e a velocidade da bicicleta.

2.3.3 Câmeras e sensores dentro do veículo motorizado

Kovaceva *et al.* (2018) utilizaram dados de 30 veículos motorizados equipados com um DAS – *Data Acquisition System*, que é composto por um conjunto de câmeras, sensores e GPS. Os autores analisaram as manobras de ultrapassagem realizadas entre os veículos motorizados e ciclistas em rodovias e vias urbanas. Os resultados mostram que quanto maior a velocidade do carro quando este se aproxima da bicicleta para ultrapassá-la, o limite da zona de conforto do ciclista (CZB) aumenta, ou seja, o veículo fica à uma distância maior da bicicleta tanto antes da ultrapassagem, quanto durante. A presença de um veículo motorizado no sentido contrário do fluxo diminuiu significativamente o CZB durante a passagem. A idade dos motoristas e o sexo não tiveram impacto estatisticamente significativo nos CZBs.

Feng *et al.* (2018) utilizaram dados obtidos de um estudo realizado pela Universidade de Michigan (EUA), na qual os veículos foram equipados com um DAS, semelhante ao estudo de Kovaceva *et al.* (2018). Vários fatores foram examinados, incluindo o tipo de marcação de faixa, a presença de uma ciclovia ou acostamento pavimentado, a presença de tráfego, a largura da faixa e a distração do motorista. Os resultados indicam que, quando uma ciclovia ou um acostamento pavimentado estavam presentes, uma linha tracejada não central (isto é, uma linha pontilhada que separa duas faixas na mesma direção) foi associada a uma passagem significativamente menor da faixa do veículo e a uma distância mais próxima da faixa

da bicicleta/acostamento em comparação com uma linha central sólida. Também descobriram que 7,8% das ultrapassagens ocorreram quando os motoristas foram distraídos dentro de cinco segundos antes da passagem dos ciclistas. Segundo os autores, os resultados podem ser potencialmente usados por engenheiros de trânsito, formuladores de políticas e legisladores para apoiar projetos de melhores infraestruturas rodoviárias, programas educacionais, políticas e leis de trânsito que visam melhorar a segurança de todos os usuários das rodovias.

2.3.4 Simulador de direção

Bella e Silvestri (2017) utilizaram um simulador de direção para investigar as interações entre veículos motorizados e ciclistas. Os autores colocam que os simuladores de direção são ferramentas ideais para estudos cuja pesquisa de campo é impossibilitada pelos altos riscos aos quais os experimentadores estariam sujeitos e pela dificuldade de garantir condições experimentais controladas. O experimento foi conduzido por 40 pessoas, 24 homens e 16 mulheres, em uma rodovia simulada. Os resultados mostraram que ciclovias mais largas garantiram maior folga lateral entre o motorista e o ciclista.

Mecheri *et al.* (2020) utilizaram um simulador de direção para analisar o efeito da configuração da estrada no comportamento dos motoristas ao ultrapassar ciclistas. O experimento foi realizado por 24 pessoas, 10 mulheres e 14 homens, em uma rodovia simulada. Os resultados mostraram que a velocidade de ultrapassagem era maior quando o ciclista trafegava no acostamento do que quando trafegava na pista. Larguras de pista menores e a ausência de acostamento levaram a distâncias laterais de ultrapassagens menores.

No estudo de Herrera *et al.* (2020), foi utilizado um simulador de direção para analisar a distância lateral e a velocidade de ultrapassagem de veículos motorizados em relação a ciclistas em uma rodovia. O estudo incluiu motoristas conscientes e não conscientes da lei que determina uma distância lateral mínima de 3 pés (aproximadamente 1,0 metro), o objetivo foi verificar se o conhecimento da lei alterava o comportamento dos motoristas. Também foi observado a influência do volume de tráfego na distância lateral e na velocidade de aproximação. Os resultados mostraram que em mais de 90% das ultrapassagens a distância mínima de 3 pés foi

respeitada, e que não houve diferença na distância lateral e na velocidade em relação ao ciclista entre os motoristas que tinham conhecimento da lei e dos que não tinham.

A partir desses estudos, é possível perceber que falta consenso quanto aos fatores que influenciam na distância lateral e na velocidade de ultrapassagem; além de ser possível perceber que esses fatores podem variar de acordo com a localidade. Também não há consenso quanto à melhor maneira de coletar de dados que possam aferir com maior precisão os fatores que influenciam na segurança dos ciclistas. O presente trabalho busca determinar a influência de alguns fatores na distância lateral e na velocidade de ultrapassagem no contexto de um país em desenvolvimento, o qual possui características de tráfego diferentes dos países nos quais os estudos presentes na literatura foram feitos. Além disso, o dispositivo desenvolvido para a coleta de dados possui um radar de velocidade que não foi utilizado em nenhum dos estudos encontrados. Espera-se assim contribuir para a discussão em relação aos fatores que influenciam a distância lateral e a velocidade de ultrapassagem, bem como desenvolver um dispositivo que seja capaz de coletar esses dados de modo eficiente.

3 MÉTODO

O foco principal deste estudo foi analisar os fatores que influenciam a distância lateral e a velocidade de ultrapassagem de veículos motorizados em relação a um ciclista. O método compreende as seguintes etapas: i) caracterização da área de estudo; ii) construção do dispositivo capaz de medir a distância lateral e a velocidade de ultrapassagem; iii) definição das variáveis independentes; iv) coleta de dados e v) análise dos dados.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na área urbana da cidade de Londrina-PR, Brasil, com população estimada em 575 377 pessoas (IBGE, 2020). De acordo com a pesquisa origem-destino realizada no ano de 2019, apenas 1% das viagens realizadas no município são feitas por bicicleta. Segundo o IPPUL – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Londrina, a cidade possui atualmente uma rede cicloviária de 41 km. No entanto, grande parte desta rede foi implantada como contrapartida à construção de polos geradores de viagem, como *shoppings* e universidades. A falta de infraestrutura adequada faz com que os ciclistas tenham de dividir as vias comuns com veículos motorizados, o que pode gerar diversas situações perigosas, além de inibir uma maior utilização da bicicleta pela população.

3.2 CONSTRUÇÃO DO DISPOSITIVO

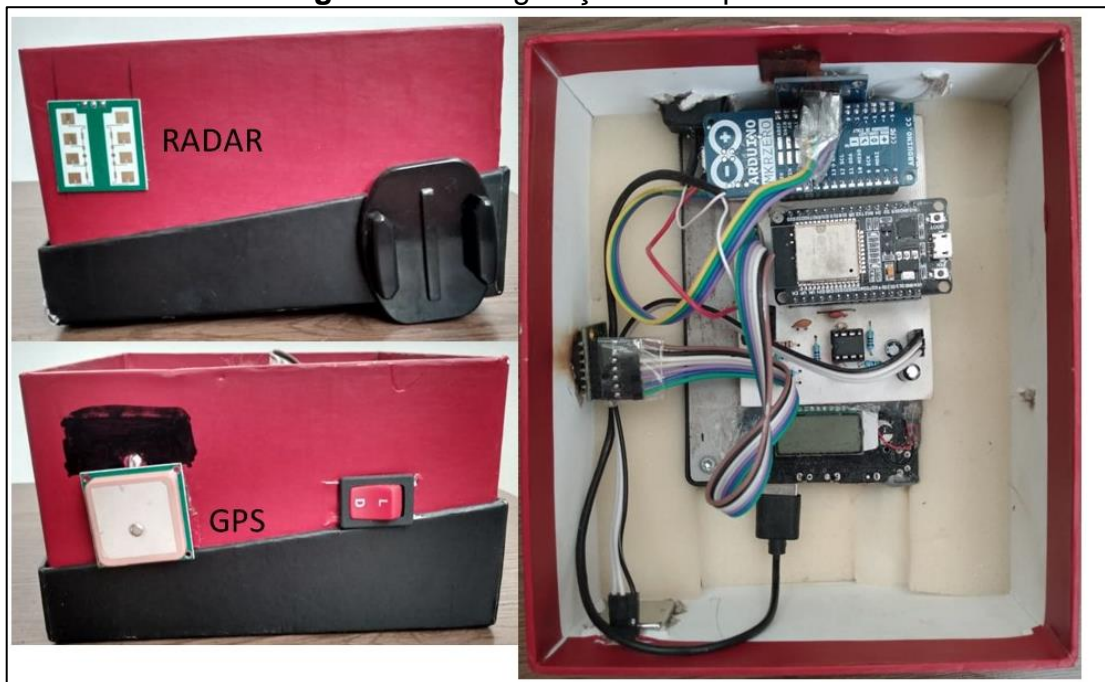
A coleta dos dados de distância lateral e da velocidade de ultrapassagem foi realizada com um dispositivo construído especificamente para este fim. O dispositivo consiste de dois microcontroladores, um ESP-32 e um Arduino MKR, um sensor de distância ultrassônico MaxBotix MB1200 XL-MaxSonar-EZ0, um módulo de radar IPM-165, um módulo GPS NEO 7M e um módulo de cartão Micro-SD.

O sensor de distância ultrassônico MaxBotix MB1200 XL-MaxSonar-EZ0 possui resolução de 1 cm e alcance que varia de 25 cm a 765 cm. O sensor foi utilizado com frequência de 10 hz, de modo que obteve 10 medidas por segundo. O módulo GPS NEO 7M operou com uma frequência de 10 hz, em conjunto com o sensor de

distância lateral e o módulo radar. A resolução de velocidade é de 0,1 m/s e de distância, para a posição geográfica, é de 2,5 m.

O módulo radar IPM-165 é um módulo Doppler de 24 GHz com um feixe largo assimétrico para detecção de movimento de objetos. O módulo possui um transmissor e um receptor. Enquanto o transmissor envia pulsos de baixa potência, o receptor recebe os pulsos rebatidos por possíveis obstáculos. O nível de ruído, ou seja, a oscilação própria do módulo, foi de 15 km/h, de modo que quando a velocidade relativa entre um veículo motorizado e o ciclista era menor do que isso, não foi possível obter a velocidade. O dispositivo e suas partes componentes podem ser vistos na Figura 2.

Figura 2 - Configuração do dispositivo



Fonte: autor

Os microcontroladores funcionam de forma coordenada. O ESP-32, por meio do módulo radar IPM-165, é responsável pela aquisição da velocidade relativa de aproximação dos veículos e o Arduino MKR é responsável por adquirir os dados do GPS, do sensor de distância ultrassônico e por salvar os dados em um cartão de memória. A velocidade relativa do veículo só é calculada caso seja maior que o nível de ruído (15 km/h) do radar, e então é transmitida para o Arduino, que salva todos os dados no cartão Micro-SD.

Além do dispositivo, foi utilizado um GPS Garmin *Edge* 200 e uma câmera *GoPro*®. O GPS Garmin *Edge* 200 foi utilizado fixo no guidão, para que o ciclista pudesse controlar a velocidade da bicicleta e o tempo do percurso. A câmera *GoPro*® foi fixada no dispositivo, com o objetivo de filmar o tráfego que se aproxima por trás da bicicleta. O sensor de distância utilizado com uma frequência de 10 hz e com precisão de 1 cm.

3.3 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES

A partir da revisão literatura, constatou-se que a manobra de ultrapassagem entre veículos e ciclistas pode ser influenciada por uma série de fatores, que envolvem o comportamento do ciclista, características da via e do tráfego; características do veículo motorizado, além de fatores como período do dia e dia da semana. Sendo assim, foi escolhido um conjunto de variáveis para serem analisadas, de modo que fosse possível verificar a influência de cada uma delas na distância lateral e na velocidade de ultrapassagem.

Para o estudo da distância lateral, foram estudadas nove variáveis independentes: velocidade da bicicleta, largura da faixa, presença de ciclofaixa, presença de estacionamento, limite de velocidade da via, hierarquia viária, tipo do veículo, período do dia e dia da semana. A velocidade do veículo não foi estudada como variável independente pois os dados de velocidade não estavam disponíveis para todos os dados de distância.

Para o estudo da velocidade de ultrapassagem, além das variáveis já mencionadas, a variável distância lateral foi considerada como variável independente, já que este dado estava disponível para todos os dados de velocidade.

3.4 COLETA DE DADOS

3.4.1 Distância Lateral E Velocidade De Ultrapassagem

Para a coleta dos dados de distância lateral e velocidade de ultrapassagem, foram feitas 36 viagens por um único ciclista em uma rota fixa, com

uma bicicleta urbana, equipada com refletor dianteiro e traseiro, além de um rack traseiro. A disposição dos equipamentos na bicicleta pode ser vista na Figura 3.

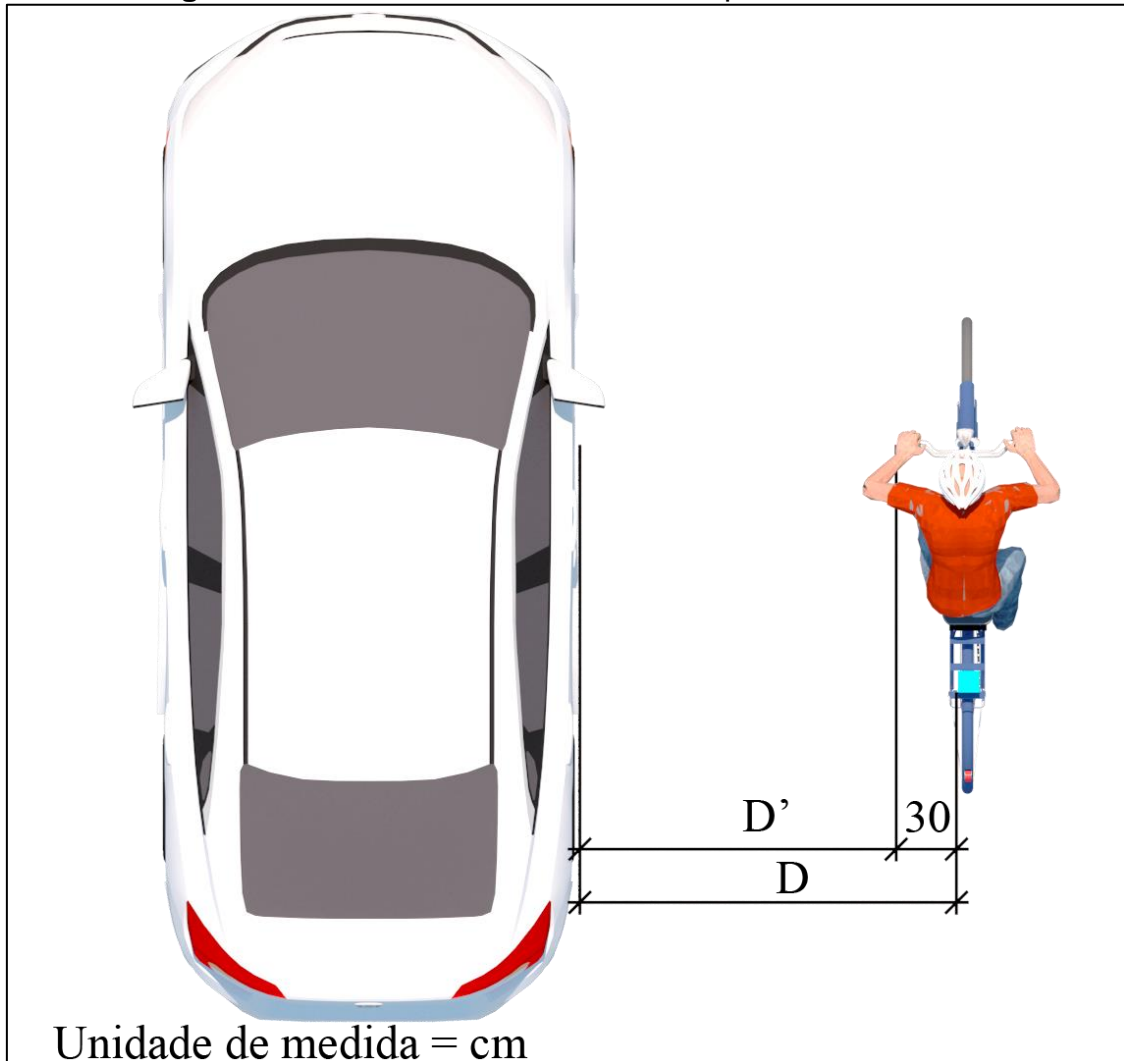
Figura 3 - Disposição dos equipamentos na bicicleta



Fonte: próprio autor

Como pode ser visto na figura, o dispositivo e a câmera GoPro® foram instalados no rack traseiro da bicicleta. O sensor de distância ficou localizado do lado direito do dispositivo, de modo que fizesse as medidas de distância lateral de maneira perpendicular aos veículos que ultrapassassem a bicicleta. A identificação das ultrapassagens se deu por meio da filmagem da câmera GoPro, que foi ligada e desligada junto com o dispositivo, de modo que ficassem sincronizados. Foi anotado o minuto e o segundo de cada ultrapassagem identificada e, após a conversão desses valores para segundo, foi possível identificar a distância lateral da ultrapassagem nos dados do dispositivo. O radar de velocidade ficou ao lado da câmera, de modo que pudesse captar a velocidade de aproximação dos veículos. Como o sensor de distância não estava posicionado no ponto mais extremo da bicicleta, foi retirado 30 cm de cada medida de distância lateral, valor referente à distância entre o sensor de distância e a ponta do guidão, conforme Figura 4 a seguir:

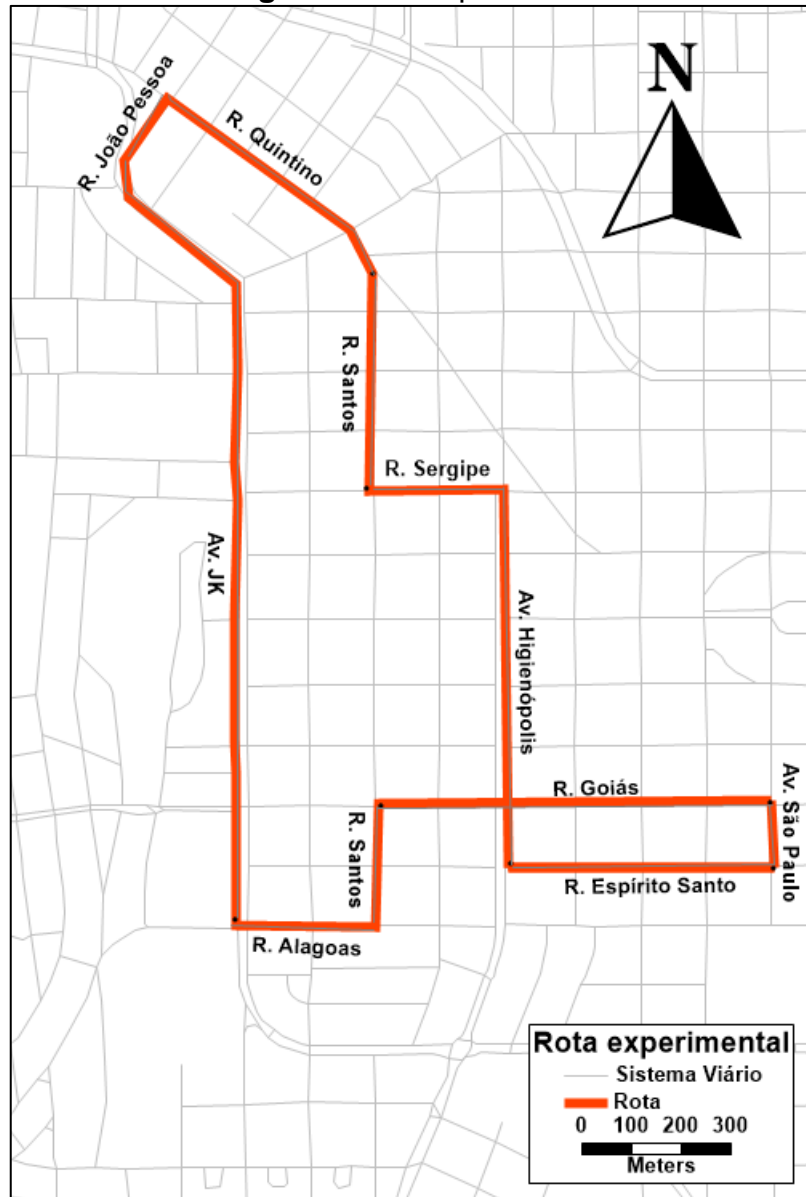
Figura 4 - Distância lateral considerada para a análise de dados



Fonte: próprio autor

Com relação à coleta dos dados de distância lateral e velocidade de ultrapassagem, foram realizadas 36 viagens em uma rota fixa, conforme apresentado na Figura 5 a seguir.

Figura 5 - Rota percorrida



Fonte: próprio autor

A rota possui uma extensão de aproximadamente 5,7 km e, durante o percurso, o ciclista utilizou capacete, blusa de cor neutra, bermuda de algodão e conduziu a bicicleta sempre respeitando as regras de circulação conforme o Código de Trânsito Brasileiro. As viagens aconteceram entre os dias 24 de setembro e 6 de novembro e foram realizadas apenas em dias ensolarados. Todas as viagens foram realizadas de segunda à sexta, no horário de pico da manhã, entre 7h30 e 8h30, ou no horário de pico da tarde, entre 17h30 e 18h30.

3.4.2 Coleta De Dados Das Variáveis Independentes

Em relação à coleta de dados das variáveis independentes, a velocidade da bicicleta foi obtida por meio do módulo GPS NEO-7M, a velocidade do veículo foi obtida pela soma da velocidade obtida pelo radar com a velocidade da bicicleta, obtida no momento da ultrapassagem. A medida da largura da faixa foi obtida *in loco*, com o uso de uma roda trena. Foi medida apenas a faixa na qual o ciclista circulou ou, quando havia ciclofaixa, da faixa adjacente à ciclofaixa.

As variáveis presença ou não de ciclofaixa, de estacionamento e limite de velocidade foram aferidas por imagens da GoPro® e por verificação *in loco*. A hierarquia viária foi identificada meio de consulta ao SIGLON – Sistema de Informação Geográfica de Londrina. O tipo do veículo que realizou a ultrapassagem foi determinado a partir da análise do vídeo gravado pela câmera GoPro®.

O período do dia e o dia da semana foram anotados antes do início de cada uma das viagens. Com o objetivo de mostrar a variação ao longo da rota, foram feitos mapas das seguintes variáveis: ciclofaixa, estacionamento, limite de velocidade da via, hierarquia viária e largura da faixa. Foram elaborados mapas temáticos com as medidas das variáveis ciclofaixa, estacionamento, limite de velocidade, hierarquia viária e largura da faixa.

3.5 ANÁLISE DOS DADOS

Buscou-se verificar a influência das variáveis independentes nos valores de distância lateral e de velocidade de ultrapassagem. Inicialmente, foi verificada a normalidade dos dados de cada um dos grupos das variáveis independentes por meio do teste de Shapiro-Wilk. Isso permitiu escolher qual teste de hipótese e qual análise de variância eram mais adequados. Foram gerados gráficos *boxplot* para as variáveis independentes que foram consideradas significantes. Além disso, foi gerada uma tabela com o resumo da estatística descritiva dos dados de distância lateral e velocidade de ultrapassagem para todas as variáveis independentes. Também foi analisada a porcentagem de ultrapassagens que foram realizadas com distância lateral menor do que 1,5 metros, que é a distância regulamentada no Brasil, e menor do 1,0 metro, que é a distância lateral regulamentada em diversos países.

A partir dos testes de hipótese e das análises de variância, em conjunto com a análise da estatística descritiva e dos gráficos *boxplot*, foi possível determinar quais variáveis influenciam de modo significativo os valores de distância lateral de ultrapassagem e de velocidade de ultrapassagem. A seguir são apresentados os testes estatísticos utilizados, bem como a explicação do funcionamento dos testes.

3.5.1 Teste De Normalidade

O primeiro passo para realizar a análise dos dados é verificar se eles seguem distribuição normal. Para isso, foi utilizado o teste Shapiro-Wilk, para um nível de significância de 0,05 ($\alpha = 5\%$). Foram analisadas as seguintes hipóteses:

H₀: A amostra provém de uma população Normal

H₁: A amostra não provém de uma população Normal

A verificação ou não da hipótese nula é feita por meio do p-valor. Caso p-valor seja maior que o valor de α (0,05), a hipótese nula é aceita e os dados são considerados normais. Caso p-valor seja menor que α (0,05), a hipótese alternativa é aceita e os dados não seguem distribuição normal, o que provoca a necessidade de realizar testes não-paramétricos.

3.5.2 Teste Walcoxon-Mann-Whitney

O teste de Walcoxon-Mann-Whitney é o equivalente não paramétrico do teste-t para duas amostras independentes. Dessa forma, para um nível de significância de 0,05 ($\alpha = 5\%$) são analisadas as seguintes hipóteses:

H₀: Não existe diferença significativa entre as amostras;

H₁: Existe diferença significativa entre as amostras;

A verificação ou não da hipótese nula é feita por meio do p-valor. Caso p-valor seja maior que o valor de α (0,05), a hipótese nula é aceita e as amostras são

consideradas iguais. Caso p-valor seja menor que α (0,05), a hipótese alternativa é aceita e é considerado que existe diferença significativa entre as amostras.

3.5.3 Teste Kruskal-Wallis

O teste de Kruskal-Wallis é o equivalente não-paramétrico da ANOVA de uma via, e é utilizado na comparação de três ou mais amostras. Dessa forma, para um nível de significância de 0,05 ($\alpha = 5\%$) são analisadas as seguintes hipóteses:

H_0 : Não existe diferença significativa entre as amostras;

H_1 : Existe diferença significativa entre as amostras;

A verificação ou não da hipótese nula é feita por meio do p-valor. Caso p-valor seja maior que o valor de α (0,05), a hipótese nula é aceita e as amostras são consideradas iguais. Caso p-valor seja menor que α (0,05), a hipótese alternativa é aceita e é considerado que existe diferença significativa entre pelo menos uma das amostras.

3.5.4 Teste de Dunn

Caso o teste de Kruskal-Wallis detecte diferença entre pelo menos duas amostras, é necessário verificar entre quais grupos existe diferença significativa. Para isso, deve ser realizado uma análise *post-hoc* por meio do teste de Dunn com p-valor ajustado.

O teste de Dunn compara as amostras em pares e fornece um p-valor ajustado para cada comparação. Caso o p-valor ajustado entre o par de amostras seja maior que o valor de α (0,05), as amostras são consideradas iguais e caso o p-valor ajustado seja menor que α (0,05), pode-se considerar que existe diferença significativa entre as amostras.

4 RESULTADOS

Os resultados foram divididos em três partes. Na primeira é apresentada a análise do dispositivo utilizado para medir a distância lateral e a velocidade de ultrapassagem. Na segunda parte são apresentados mapas temáticos que mostram como as variáveis independentes variaram ao longo da rota, e na terceira parte é apresentada a análise estatística dos dados de distância lateral e velocidade de ultrapassagem.

4.1 USO DO EQUIPAMENTO

Ao longo das 36 viagens realizadas foram identificadas 2032 ultrapassagens. A medida de distância lateral foi obtida para todas as ultrapassagens, enquanto a medida de velocidade de ultrapassagem foi obtida para 969 ultrapassagens, o que corresponde a 48% do total. Isso ocorreu devido ao fato de que o radar captou apenas as ultrapassagens com velocidade de aproximação maior do que 15 km/h. O dispositivo foi capaz de identificar as coordenadas geográficas e a velocidade da bicicleta em todas as ultrapassagens.

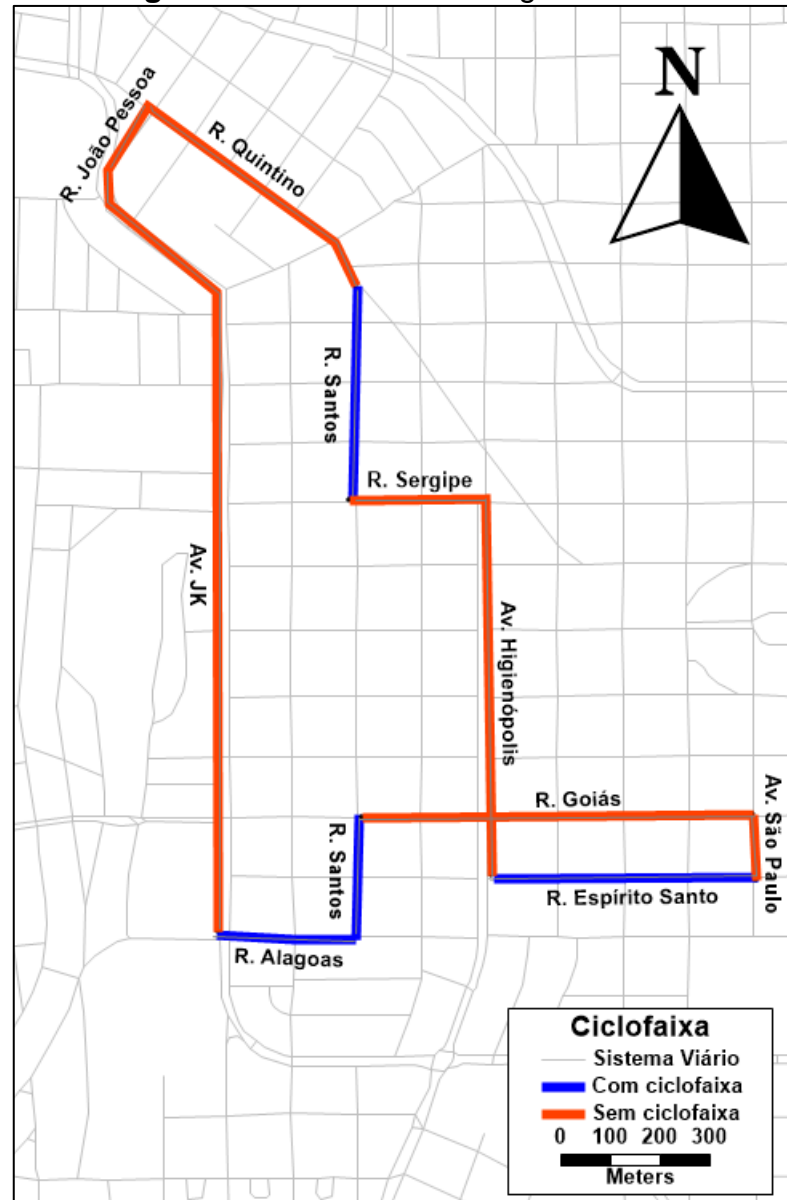
4.2 COLETA DE DADOS

A seguir são apresentados os mapas temáticos das seguintes variáveis: ciclofaixa, estacionamento, limite de velocidade da via, hierarquia viária e largura da faixa.

4.2.1 Presença De Ciclofaixa

A localização das ciclofaixas ao longo da rota é apresentada na Figura 6 a seguir:

Figura 6 - Ciclofaixas ao longo da rota



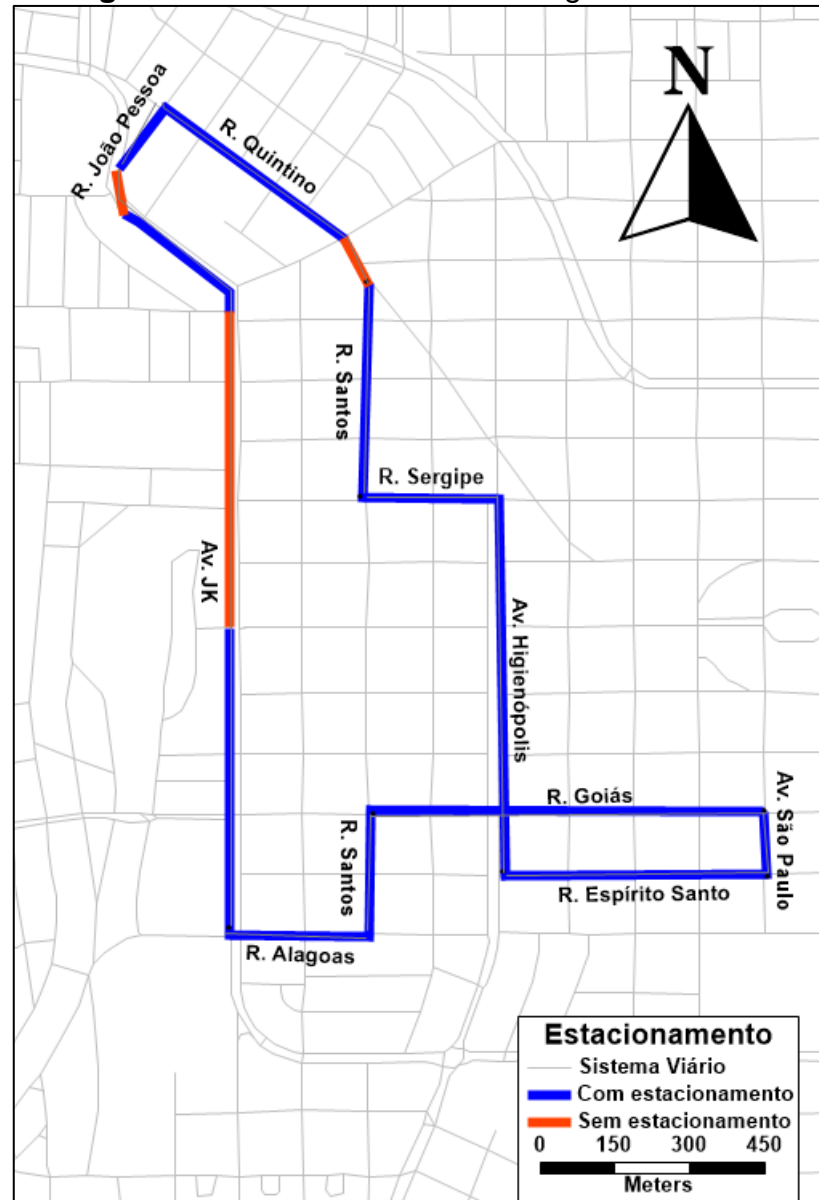
Fonte: próprio autor

As ciclofaixas estavam presentes em aproximadamente 25,35% da rota, um total de 1,45 km. Todas as ciclofaixas estavam localizadas em vias coletoras, eram unidirecionais, no mesmo sentido do tráfego, e possuíam 1,0 metro de largura.

4.2.2 Presença De Estacionamento

A localização dos estacionamentos ao longo da rota é apresentada na Figura 7 a seguir.

Figura 7 - Estacionamentos ao longo da rota

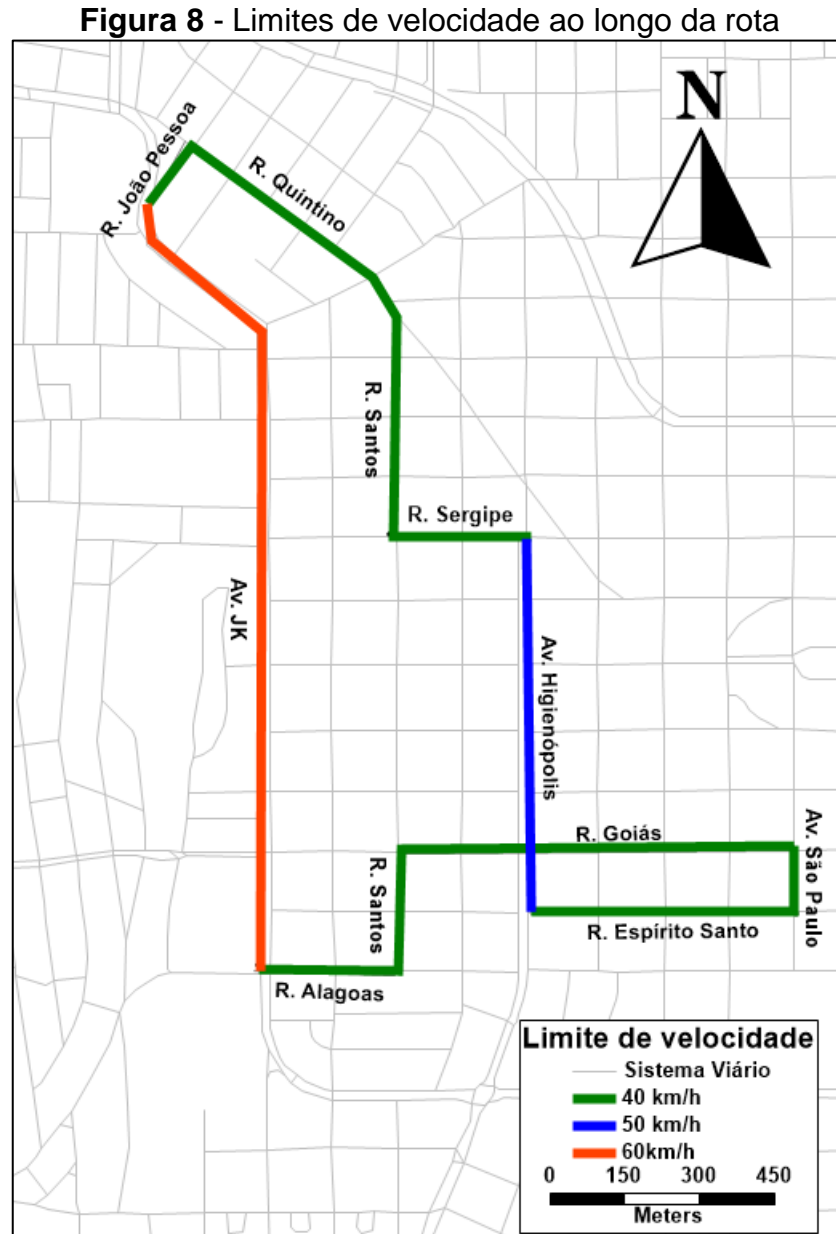


Fonte: próprio autor

Os estacionamentos não estavam presentes em aproximadamente 13,25% da rota, um total de 0,755 km. Como o experimento foi realizado na região central da cidade, não foi possível traçar uma rota na qual a porcentagem de trechos com e sem estacionamento fosse parecida.

4.2.3 Limite De Velocidade

A Figura 8 a seguir mostra os limites de velocidade das vias ao longo da rota.

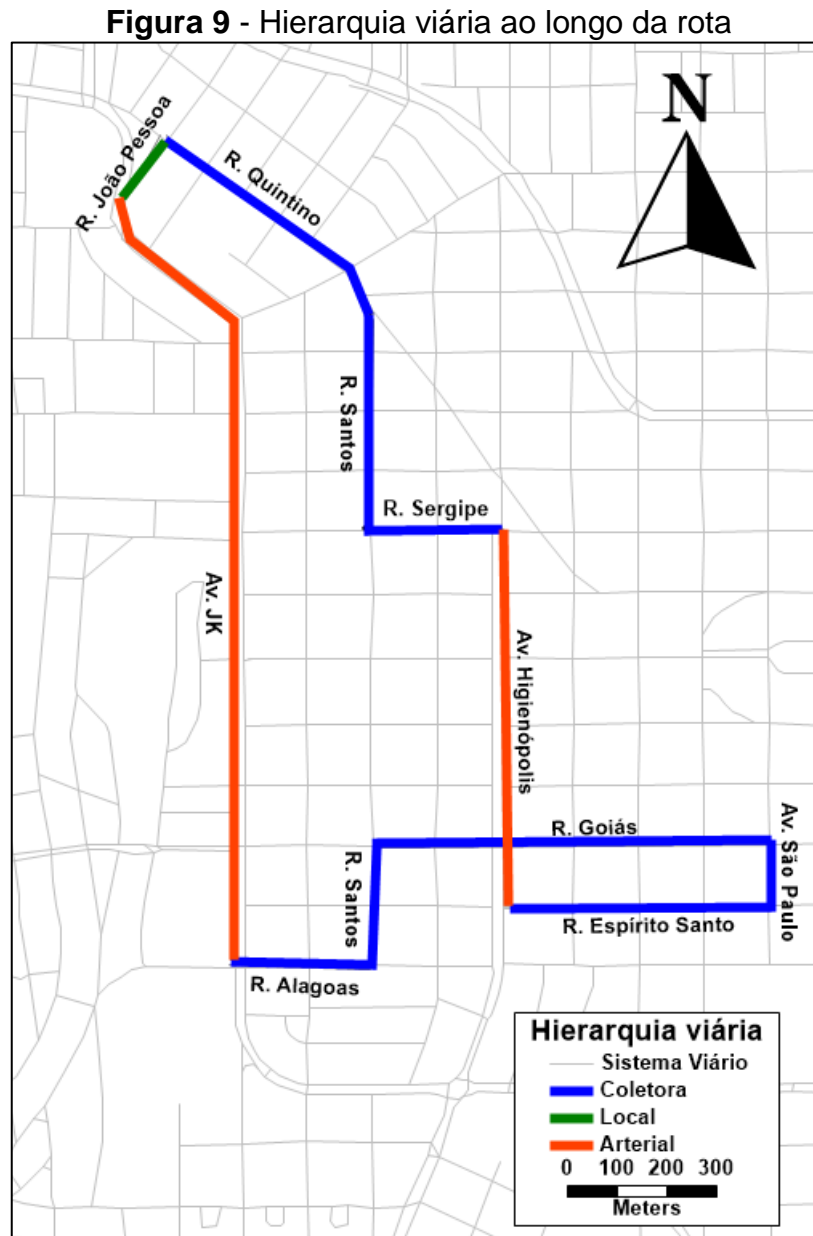


Fonte: próprio autor

As vias com limite de velocidade de 40 km/h representaram 57,02% da rota, um total de 3,25 km, enquanto as vias com limite de 50 km/h somaram 13,15%, um total de 0,75 km, e as vias com limite de 60 km/h somaram 29,83%, um total de 1,7 km.

4.2.4 Hierarquia Viária

A Figura 9 a seguir mostra a hierarquia viária das vias ao longo da rota.

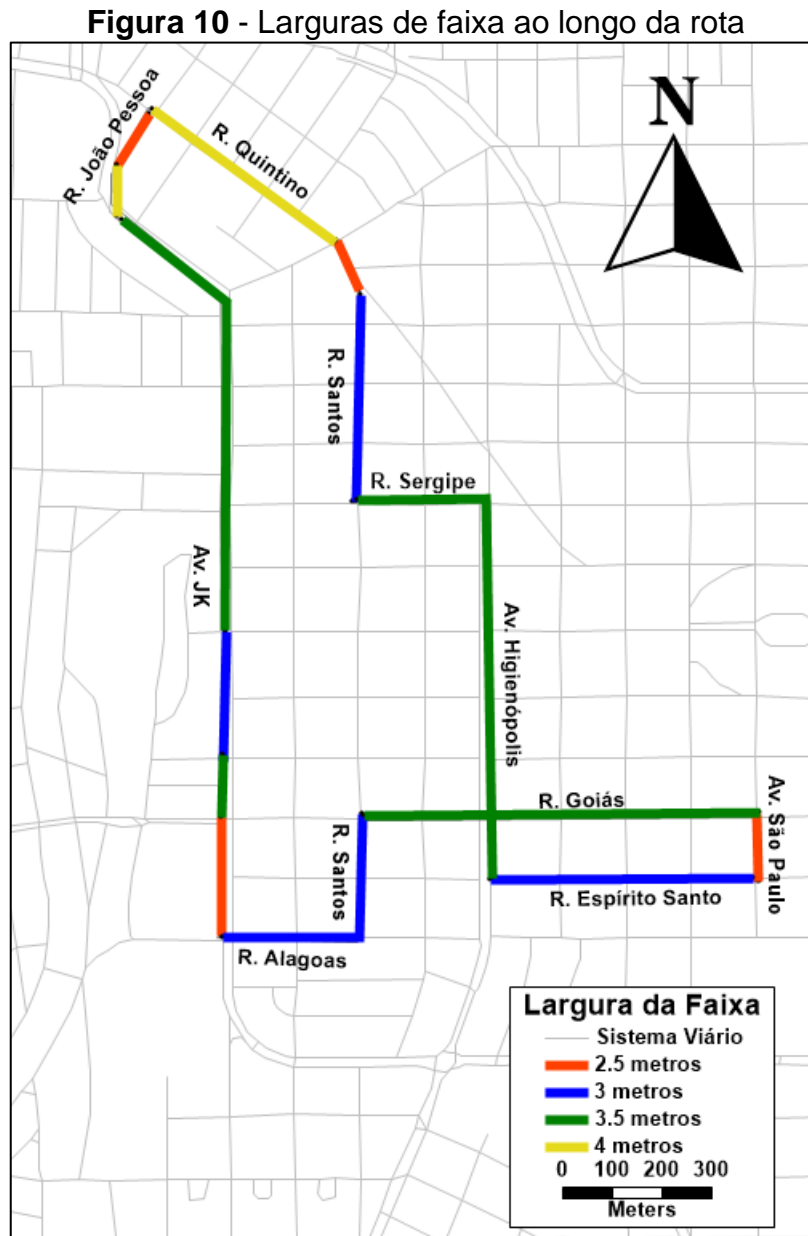


Fonte: próprio autor

As vias arteriais representaram 42,98% da rota, um total de 2,45 km, enquanto as vias coletoras somaram 55,26%, um total de 3,15 km, e as vias locais representaram apenas 1,76%, um total de 0,1 km. A baixa porcentagem de vias locais se deve ao fato de a rota estar localizada na região central da cidade.

4.2.5 Largura Da Faixa

A Figura 10 a seguir mostra a variação das larguras ao longo da rota.



Fonte: próprio autor

As vias com faixa de 4,0 metros de largura somaram aproximadamente 12,3%, um total de 0,7 km, enquanto as vias com faixa de 3,5 metros somaram 49,10%, um total de 2,8 km. As vias com faixa de 3,0 metros de largura somaram 29,9%, um total de 1,7 km, enquanto as vias com faixa de 2,5 metros somaram 8,7%, um total de 0,5 km.

4.3 DISTÂNCIA LATERAL DE ULTRAPASSAGEM

Foram identificadas 2032 ultrapassagens ao longo das 36 viagens utilizadas para a coleta de dados. Neste tópico, a distância lateral de ultrapassagem é a variável dependente, enquanto as variáveis independentes estudadas foram: velocidade da bicicleta, tipo do veículo, presença de estacionamento, presença de ciclofaixa, período do dia, dia da semana, limite de velocidade da via e hierarquia viária.

Para analisar os dados, foram geradas tabelas com a estatística descritiva de cada uma das variáveis independentes, além de terem sido realizados testes estatísticos para verificar a existência de diferenças significativas entre os grupos das variáveis independentes.

4.3.1 Teste De Normalidade

Com o objetivo de verificar se os dados seguem distribuição normal, foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk. O teste foi feito para cada grupo de cada uma das variáveis independentes. Os resultados do teste são apresentados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Teste Shapiro-Wilk dos dados de distância lateral

Variável	p-valor
Ciclofaixa	
Sim	2.68E-14
Não	2.20E-16
Estacionamento	
Sim	2.20E-16
Não	8.54E-11
Tipo de veículo	
Passeio	2.20E-16
Utilitário	1.54E-05
Pesado	0.0002625
Período do dia	
Manhã	2.20E-16
Tarde	2.20E-16
Dia da Semana	
Segunda	2.48E-10
Terça	6.13E-15
Quarta	1.34E-10
Quinta	1.28E-12
Sexta	1.18E-12
Limite de velocidade	
40	2.20E-16
50	7.15E-09
60	4.67E-13
Hierarquia Viária	
Arterial	2.20E-16
Coletora	2.20E-16
Local	0.9909
Largura da faixa	
2.5	0.5953
3.0	3.646e-14
3.5	2.2e-16
4.0	4.79e-06

Fonte: próprio autor

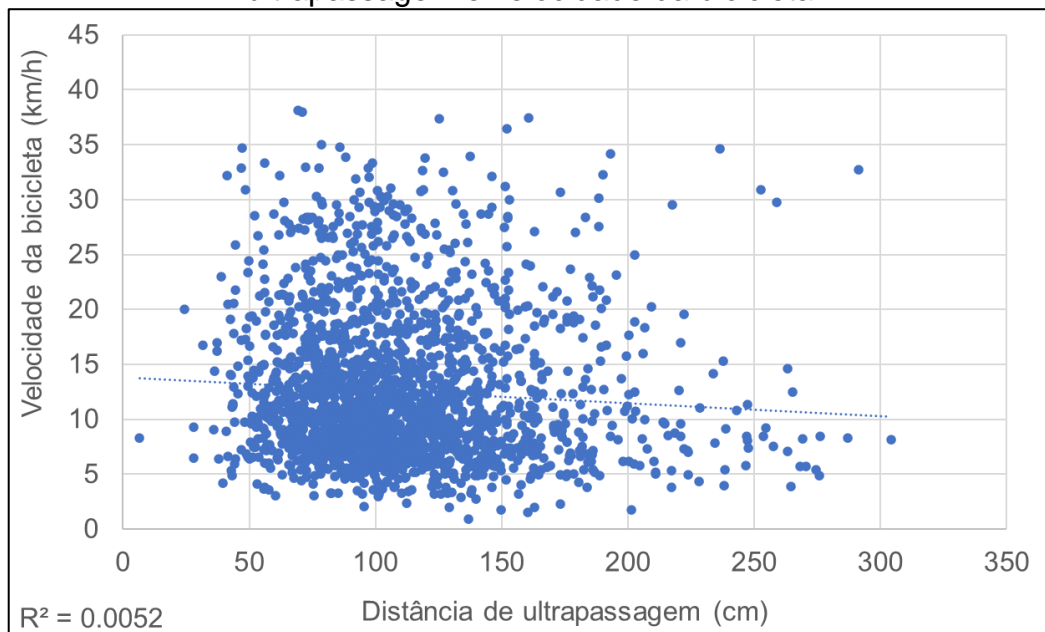
Conforme pode ser visto na tabela, o p-valor foi menor do que o nível de significância, de 0,05, em pelo menos um dos grupos de todas as variáveis independentes estudadas. Isso indica que os dados não seguem distribuição normal e, dessa forma, existe a necessidade da realização de testes não paramétricos para determinar se existe diferença significativa entre os grupos das variáveis independentes.

Para as variáveis independentes com até dois grupos, foi realizado o teste de Wilcoxon-Mann-Whitney, enquanto para as variáveis independentes com mais de dois grupos, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Dunn, caso necessário.

4.3.2 Velocidade Da Bicicleta

Com o objetivo de verificar se existe correlação entre os dados de distância lateral e a velocidade da bicicleta no momento da ultrapassagem, foi gerado um gráfico de dispersão, o qual é apresentado na Figura 11 a seguir.

Figura 11- Gráfico de dispersão entre os dados de distância lateral de ultrapassagem e velocidade da bicicleta



Fonte: próprio autor

É possível perceber pela distribuição dos dados que não há relação aparente entre as duas variáveis. O valor de $R^2 = 0,0052$ indica que não há relação estatística entre a velocidade do ciclista e a distância lateral entre o veículo e o ciclista no momento da ultrapassagem.

4.3.3 Presença De Ciclofaixa

Com o objetivo de verificar se a presença ou não de ciclofaixa influenciou na distância lateral de ultrapassagem, foi gerada uma tabela com a estatística descritiva com os dados dos dois grupos, além de ter sido feito um teste estatístico para verificar se existe diferença significativa entre eles. A Tabela 2 a seguir apresenta a estatística descritiva dos dados de distância lateral de ultrapassagem em relação à presença ou não de ciclofaixa.

Tabela 2 - Estatística descritiva dos dados de distância lateral em relação a presença ou não de ciclofaixa

Presença de ciclofaixa	Não	Sim
Média	104.74	131.45
Erro padrão	0.91	2.30
Mediana	99.06	122.19
Desvio padrão	36.96	45.04
Mínimo	6.56	51.56
Máximo	291.25	304.06
Contagem	1647	385
% menor que 1,5 m	88,71	76,36
% menor que 1,0 m	51,43	23,12

Fonte: próprio autor

A estatística descritiva indica que tanto a média como a mediana do grupo que não possuía ciclofaixa foi menor do que o grupo que possuía. Outro dado que pode ser destacado é o valor mínimo, que foi de 6,56 cm nos trechos sem ciclofaixa e de 51,56 cm nos trechos com ciclofaixa, o que mostra que a ciclofaixa evitou distâncias de ultrapassagem muito baixas. Quando havia ciclofaixa 76,36% das ultrapassagens foram feitas com distância lateral menor do que 1,5 metros, em comparação com 88,71% nos trechos sem ciclofaixa. Em relação às ultrapassagens com menos de 1,0 metro de distância lateral a diferença foi ainda maior, 23,12% nos trechos com ciclofaixa e 51,43% nos trechos sem ciclofaixa. Para verificar se existe diferença estatística entre os dois grupos, foi realizado o teste não-paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney, conforme Tabela 3 a seguir.

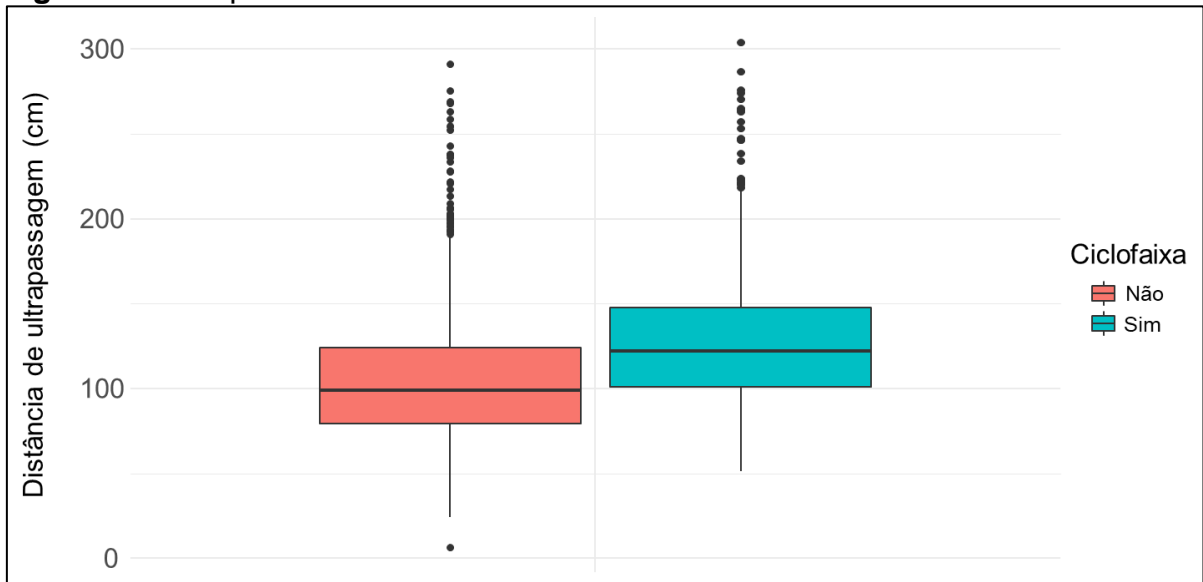
Tabela 3 – Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney dos dados de distância lateral em relação a presença ou não de ciclofaixa

W	197576
p-valor	2.2e-16

Fonte: próprio autor

Como p-valor do teste foi menor do que 0,05, é possível concluir que houve variação significativa nos valores de distância lateral de ultrapassagem nos trechos com e sem ciclofaixa. Foi elaborado um gráfico boxplot para comparar os dois grupos, conforme Figura 12 a seguir.

Figura 12 - Boxplot dos dados de distância lateral nos trechos com e sem ciclofaixa



Fonte: próprio autor

É possível perceber que os dados de distância lateral no grupo sem ciclofaixa ficaram abaixo do grupo com ciclofaixa, tanto em relação à mediana como em relação ao valor mínimo. Isso mostra que a ciclofaixa garantiu uma distância lateral maior do que nos trechos sem ciclofaixa. Apesar disso, mesmo nos trechos com ciclofaixa não foi cumprida a regra que determina que os veículos devem trafegar com pelo menos 1,5 metros de distância, o que mostra que o ideal seria que infraestruturas que segreguem o ciclista do tráfego de veículos motorizados fossem construídas.

4.3.4 Presença De Estacionamento

Com o objetivo de verificar se a presença ou não de estacionamento influenciou na distância lateral de ultrapassagem, foi gerada uma tabela com a estatística descritiva com os dados dos dois grupos, além de ter sido feito um teste estatístico para verificar se existe diferença significativa entre eles. A Tabela 4 a seguir apresenta a estatística descritiva dos dados de distância lateral de ultrapassagem em relação à presença ou não de estacionamento.

Tabela 4 - Estatística descritiva dos dados de distância lateral em relação a presença ou não de estacionamento

Presença de estacionamento	Não	Sim
Média	109.28	109.88
Erro padrão	2.48	0.95
Mediana	100.62	103.60
Desvio padrão	40.24	39.98
Mínimo	41.25	6.56
Máximo	291.25	304.06
Contagem	264	1768
% menor que 1,5 m	84,84	86,48
% menor que 1,0 m	48,48	45,59

Fonte: próprio autor

A estatística descritiva indica que tanto a média como a mediana dos grupos não possuem diferença aparente. As porcentagens de ultrapassagens realizadas com menos de 1,5 e 1,0 metro também ficaram próximas. Para verificar se existe diferença estatística entre os dois grupos, foi realizado o teste não-paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney, conforme Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 - Teste Wilcoxon-Mann-Whitney dos dados de distância lateral em relação a presença ou não de estacionamento

<u>W</u>	<u>227727</u>
<u>p-valor</u>	<u>0.5253</u>

Fonte: próprio autor

Como p-valor do teste foi maior do que 0,05, é possível concluir que não houve diferença significativa nos valores de distância lateral de ultrapassagem entre os trechos com e sem estacionamento.

4.3.5 Período Do Dia

Com o objetivo de verificar se o período do dia influenciou na distância lateral de ultrapassagem, foi gerada uma tabela com a estatística descritiva com os dados dos dois grupos, além de ter sido feito um teste estatístico para verificar se existe diferença significativa entre eles. A Tabela 6 a seguir apresenta a estatística descritiva dos dados de distância lateral de ultrapassagem em relação ao período do dia.

Tabela 6 - Estatística descritiva dos dados de distância lateral em relação ao período do dia

Período do dia	Manhã	Tarde
Média	110.65	108.59
Erro padrão	1.15	1.40
Mediana	104.69	100.94
Desvio padrão	39.60	40.57
Mínimo	24.38	6.56
Máximo	304.06	291.25
Contagem	1195	837
% menor que 1,5 m	86,53	86,14
% menor que 1,0 m	44,18	48,75

Fonte: próprio autor

A estatística descritiva indica que tanto a média como a mediana dos grupos não possuem diferença aparente. As porcentagens de ultrapassagens realizadas com menos de 1,5 e 1,0 metro também ficaram próximas. Para verificar se existe diferença estatística entre os dois grupos, foi realizado o teste não-paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney, conforme Tabela 7 a seguir.

Tabela 7 – Teste Wilcoxon-Mann-Whitney dos dados de distância lateral em relação ao período do dia

<u>W</u>	<u>521549</u>
<u>p-valor</u>	<u>0.09953</u>

Fonte: próprio autor

Como p-valor do teste foi maior do que 0,05, é possível concluir que não houve variação significativa nos valores de distância lateral de ultrapassagem entre os períodos da manhã e da tarde.

4.3.6 Dia Da Semana

Com o objetivo de verificar se o dia da semana em que a viagem foi realizada influenciou na distância lateral de ultrapassagem, foi gerada uma tabela com a estatística descritiva com os dados dos dois grupos, além de terem sido feitos testes estatísticos para verificar se existe diferença significativa entre eles. A Tabela 8 a seguir apresenta a estatística descritiva dos dados de distância lateral de ultrapassagem em relação ao dia da semana.

Tabela 8 - Estatística descritiva dos dados de distância lateral em relação ao dia da semana

Dia da semana	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
Média	108.15	107.04	111.40	111.59	111.21
Erro padrão	2.03	1.78	2.38	1.77	2.08
Mediana	101.88	99.69	103.44	106.25	103.44
Desvio padrão	37.89	39.47	43.97	38.02	41.11
Mínimo	31.56	28.12	6.56	41.25	24.38
Máximo	275.62	304.06	286.88	291.25	269.06
Contagem	347	489	341	463	392
% menor que 1,5 m	88,18	88,55	83,87	85,74	84,95
% menor que 1,0 m	47,26	50,10	45,16	41,25	46,43

Fonte: próprio autor

A estatística descritiva indica que tanto a média como a mediana dos grupos não possuem diferença aparente. As porcentagens de ultrapassagens realizadas com menos de 1,5 e 1,0 metro também ficaram próximas. Para verificar se existe diferença estatística entre os cinco grupos, foi realizado o teste não-paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney, conforme Tabela 9 a seguir.

Tabela 9 – Teste Kruskal-Wallis dos dados de distância lateral em relação ao dia da semana

Qui-quadrado	6.2401
p-valor	0.1819

Fonte: próprio autor

Como o p-valor do teste foi maior do que 0,05, é possível concluir que não houve variação significativa nos valores de distância lateral de ultrapassagem entre os dias da semana.

4.3.7 Limite De Velocidade

Com o objetivo de verificar se o limite de velocidade da via influenciou na distância lateral de ultrapassagem, foi gerada uma tabela com a estatística descritiva com os dados dos três grupos, além de terem sido feitos testes estatísticos para verificar se existe diferença significativa entre eles. A Tabela 10 a seguir apresenta a estatística descritiva dos dados de distância lateral de ultrapassagem em relação aos limites de velocidade da via.

Tabela 10 - Estatística descritiva dos dados de distância lateral em relação ao limite de velocidade

Limite de velocidade	40	50	60
Média	115.88	102.82	106.01
Erro padrão	1.40	1.58	1.53
Mediana	107.50	99.06	99.69
Desvio padrão	42.90	34.93	37.79
Mínimo	28.12	6.56	24.38
Máximo	304.06	275.62	291.25
Contagem	938	487	607
% menor que 1,5 m	84,11	90,55	86,49
% menor que 1,0 m	40,51	50,92	50,74

Fonte: próprio autor

A estatística descritiva indica uma diferença aparente tanto na média como na mediana de pelo menos um dos grupos. As vias com limite e 40 km/h tiveram 40,51% das ultrapassagens realizadas com distância menor do que 1,0 metro, em comparação com 50,92% e 50,74 das vias com limite de 50 km/h e 60 km/h, respectivamente. Para verificar se existe diferença estatística, foi realizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, conforme Tabela 11 a seguir.

Tabela 11 – Teste Kruskal-Wallis dos dados de distância lateral em relação ao limite de velocidade

Qui-quadrado	34.769
p-valor	2.818e-08

Fonte: próprio autor

Como p-valor foi menor do que 0,05, é possível afirmar que há diferença significativa entre pelo menos um dos grupos. Para determinar entre quais grupos existe diferença, foi realizada o teste post-hoc de Dunn, com p-valor ajustado.

Os resultados do teste são apresentados na Tabela 12 a seguir.

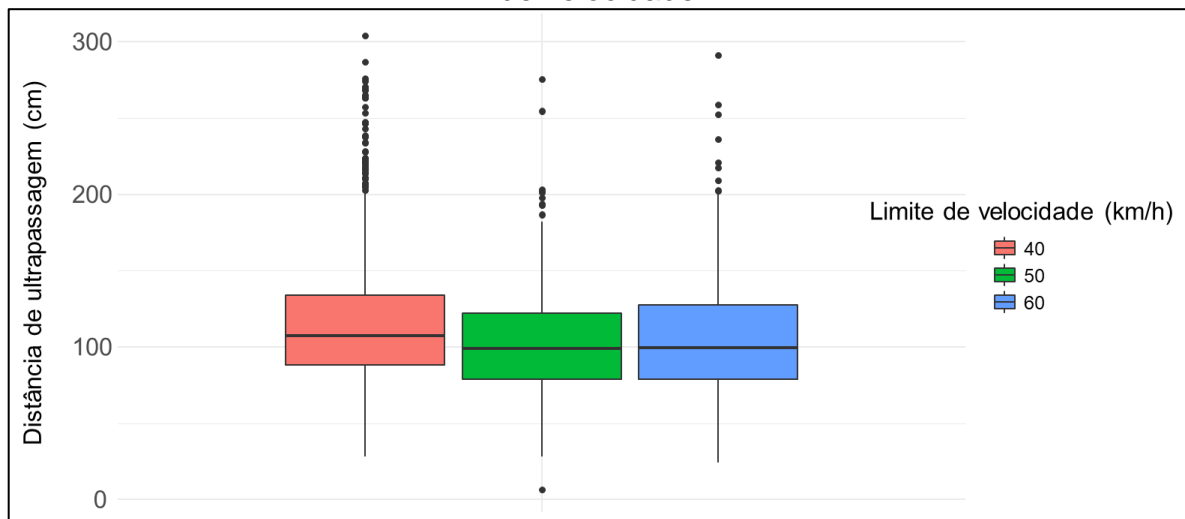
Tabela 12 – Teste de Dunn dos dados de distância lateral em relação ao limite de velocidade

Grupo 1	Grupo 2	n1	N2	Estatística do teste	p-valor ajustado
40	50	938	487	-5,19	0.000000624
40	60	938	607	-4,50	0.0000201
50	60	487	607	0,911	1

Fonte: próprio autor

Os resultados indicam que há diferença significativa entre os grupos 40 e 50 e entre os grupos 40 e 60. Foi elaborado um gráfico boxplot para comparar os três grupos, conforme mostra a Figura 13 a seguir.

Figura 13 - Boxplot dos dados de distância lateral nos trechos em relação ao limite de velocidade



Fonte: próprio autor

É possível perceber que os valores de distância lateral nas vias com limite de velocidade de 40 km/h foram significativamente maiores do que nas vias de 50 km/h e 60 km/h. O fato de as vias que possuíam ciclofaixas terem limite de velocidade de 40 km/h pode ter contribuído com esse resultado.

4.3.8 Hierarquia Viária

Com o objetivo de verificar se a hierarquia viária influenciou na distância lateral de ultrapassagem, foi gerada uma tabela com a estatística descritiva com os

dados dos três grupos, além de terem sido feitos testes estatísticos para verificar se existe diferença significativa entre eles. A Tabela 13 a seguir apresenta a estatística descritiva dos dados de distância lateral de ultrapassagem em relação à hierarquia viária.

Tabela 13 - Estatística descritiva dos dados de distância lateral em relação a hierarquia viária

Hierarquia viária	Arterial	Coletora	Local
Média	104.59	115.74	126.39
Erro padrão	1.11	1.42	7.06
Mediana	99.38	107.19	122.81
Desvio padrão	36.57	43.09	25.47
Mínimo	6.56	28.12	77.19
Máximo	291.25	304.06	173.44
Contagem	1094	925	13
% menor que 1,5 m	88,30	84,11	84,61
% menor que 1,0 m	50,82	40,97	7,69

Fonte: próprio autor

A estatística descritiva indica uma diferença aparente tanto na média como na mediana de pelo menos um dos grupos. A porcentagem de ultrapassagens realizadas com distância lateral menor do 1,0 metro foi de 50,82% nas vias arteriais, enquanto nas vias coletoras foi de 40,97% e nas vias locais de 7,69%, o que pode indicar que as vias coletoras e locais foram mais seguras para o ciclista. No entanto, a amostra das vias locais consiste de apenas 13 observações, o que pode ter influenciado nos resultados. Para verificar se existe diferença estatística, foi realizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, conforme Tabela 14 a seguir.

Tabela 14 – Teste de Kruskal-Wallis dos dados de distância lateral em relação a hierarquia viária

Qui-quadrado	37.116
p-valor	8.718e-09

Fonte: próprio autor

Como p-valor é menor do que 0,05, é possível afirmar que há diferença significativa entre pelo menos um dos grupos. Para determinar entre quais grupos existe diferença, foi realizada o teste post-hoc de Dunn, com p-valor ajustado. Os resultados do teste são apresentados na Tabela 15 a seguir:

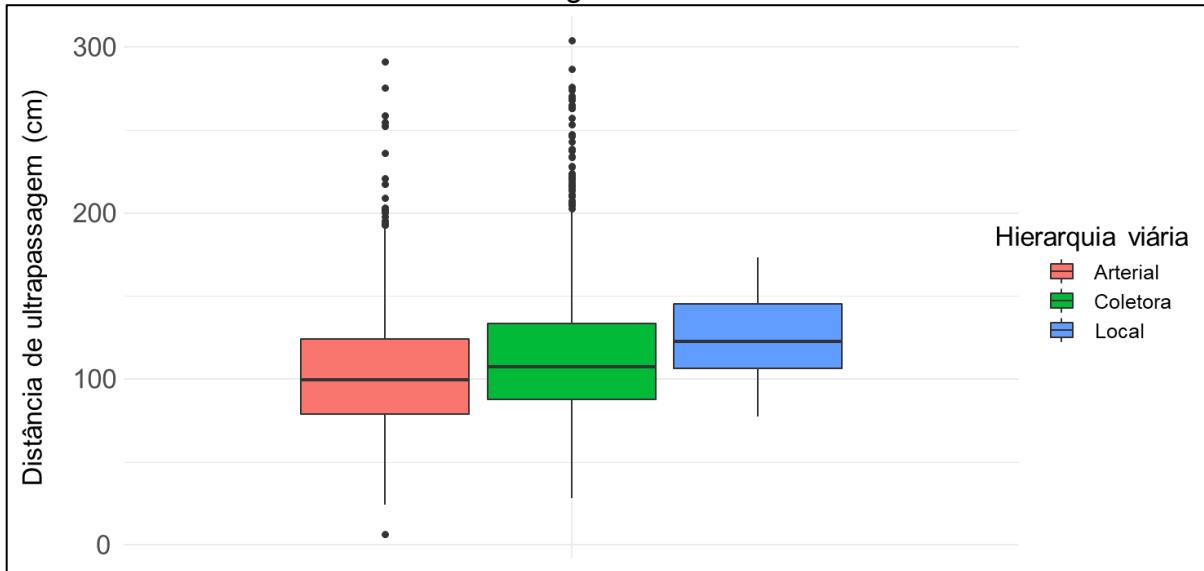
Tabela 15 – Teste de Dunn dos dados de distância lateral em relação a hierarquia viária

Grupo 1	Grupo 2	n1	N2	Estatística do teste	p-valor ajustado
Arterial	Coletora	1094	925	5,65	0.0000000483
Arterial	Local	1094	13	2,69	0.0215
Coletora	Local	925	13	1,78	0.224

Fonte: próprio autor

Os resultados indicam que há diferença significativa entre os grupos Arterial e Coletora e entre os grupos Arterial e Local. Foi elaborado um gráfico boxplot para comparar os três grupos, conforme mostra a Figura 14 a seguir.

Figura 14 - Boxplot dos dados de distância lateral separado pela hierarquia viária



É possível perceber que os valores de distância lateral nas vias arteriais foram menores do que nas vias coletoras e locais, com a maior diferença sendo entre as vias arteriais e locais. Esse resultado indica uma situação perigosa para o ciclista, já que nas vias arteriais o limite de velocidade normalmente é maior do que nas demais, o que pode provocar ultrapassagens com baixa distância lateral e alta velocidade, o que aumenta a chance de um acidente grave.

4.3.9 Tipo Do Veículo

Com o objetivo de verificar se o tipo do veículo influenciou na distância lateral de ultrapassagem, foi gerada uma tabela com a estatística descritiva com os dados dos três grupos, além de terem sido feitos testes estatísticos para verificar se existe diferença significativa entre eles. A Tabela 16 a seguir apresenta a estatística descritiva dos dados de distância lateral de ultrapassagem em relação ao tipo de veículo.

Tabela 16 - Estatística descritiva dos dados de distância lateral em relação ao tipo do veículo

Tipo do veículo	Passeio	Utilitário	Pesado
Média	110.5031	108.4408	96.9325
Erro padrão	0.95661	2.752061	4.433438
Mediana	103.44	104.06	86.56
Desvio padrão	40.21179	37.83458	38.64982
Mínimo	6.56	42.81	35.94
Máximo	304.06	257.5	238.44
Contagem	1767	189	76
% menor que 1,5 m	86,13	82,54	92,10
% menor que 1,0 m	45,50	44,44	59,21

Fonte: próprio autor

A estatística descritiva indica uma diferença aparente tanto na média como na mediana dos grupos passeio e utilitário em relação ao grupo pesado. A porcentagem de ultrapassagens com distância menor do que 1,5 metros foi menor para os veículos pesados, de 91,10%, em comparação com 86,13% dos veículos de passeio e 82,54 dos veículos utilitários. Os veículos pesados também apresentaram a maior porcentagem de ultrapassagens com distância menor do que 1,0 metro. Para verificar se existe diferença estatística, foi realizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, conforme Tabela 17 a seguir.

Tabela 17 – Teste de Kruskal-Wallis dos dados de distância lateral em relação ao tipo do veículo

Qui-quadrado	10.473
p-valor	0.005318

Fonte: próprio autor

Como p-valor é menor do que 0,05, é possível afirmar que há

diferença significativa entre pelo menos um dos grupos. Para determinar entre quais grupos existe diferença, foi realizada o teste post-hoc de Dunn, com p-valor ajustado. Os resultados do teste são apresentados na Tabela 18 a seguir.

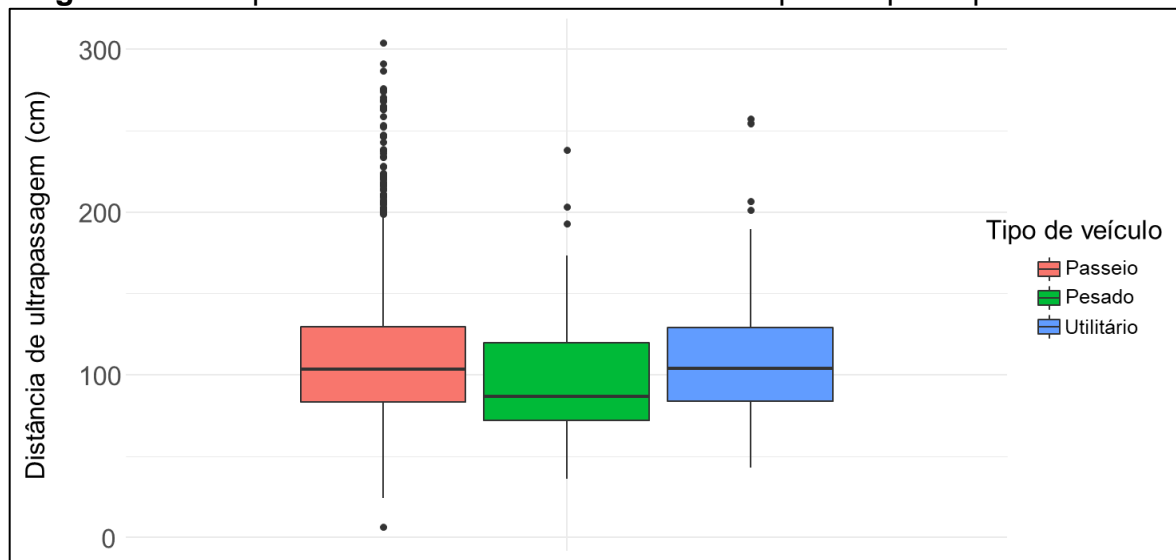
Tabela 18 – Teste de Dunn dos dados de distância lateral em relação ao tipo do veículo

Grupo 1	Grupo 2	n1	N2	Estatística do teste	p-valor ajustado
Passeio	Pesado	1767	76	-3,23	0,00366
Passeio	Utilitário	1767	189	-0,316	1
Pesado	Utilitário	76	189	2,61	0,0270

Fonte: próprio autor

Os resultados indicam que há diferença significativa entre os grupos Passeio e Pesado e entre os grupos Pesado e Utilitário. Foi elaborado um gráfico boxplot para comparar os três grupos, conforme mostra a Figura 15 a seguir

Figura 15 - Boxplot dos dados de distância lateral separado pelo tipo do veículo



Fonte: próprio autor

É possível perceber que os valores de distância lateral dos veículos pesados foram menores do que os veículos de passeio e utilitários. Esse resultado é esperado, já que os veículos pesados são mais largos e acabam por ter menos espaço para ultrapassar o ciclista. Cabe também ressaltar que essa é uma situação que apresenta risco de acidentes graves para o ciclista, já que a diferença de peso entre o veículo e a bicicleta é grande. O ideal seria que, em vias nas quais trafegam uma grande quantidade de veículos pesados, como em faixas exclusivas de ônibus e

regiões com alta circulação de veículos de carga, houvesse infraestrutura cicloviária, de modo que o ciclista trafegasse segregado dos veículos pesados.

4.3.10 Largura Da Faixa

Com o objetivo de verificar se a largura da faixa influenciou na distância lateral de ultrapassagem, foi gerada uma tabela com a estatística descritiva com os dados dos três grupos, além de terem sido feitos testes estatísticos para verificar se existe diferença significativa entre eles. A Tabela 19 a seguir apresenta a estatística descritiva dos dados de distância lateral de ultrapassagem em relação à largura da faixa.

Tabela 19 - Estatística descritiva dos dados de distância lateral em relação a largura da faixa

Largura da faixa	2.5	3	3.5	4
Média	107.13	129.31	101.71	128.38
Erro padrão	3.33	2.09	0.97	3.67
Mediana	106.88	120.94	95.94	119.07
Desvio padrão	33.00	44.41	35.72	41.87
Mínimo	37.19	36.25	6.56	43.75
Máximo	188.75	304.06	291.25	268.12
Contagem	98	451	1353	130
% menor que 1,5 m	92,86	76,50	90,24	75,38
% menor que 1,0 m	41,84	25,06	55,36	2,31

Fonte: próprio autor

A estatística descritiva indica uma diferença aparente tanto na média como na mediana de pelo menos um dos grupos. Em relação à porcentagem de ultrapassagens com distância lateral menor do que 1,5 metros, as faixas de 3,0 e 4,0 metros apresentaram melhores resultados, com 76,5% e 75,38%, respectivamente, em comparação com as faixas de 2,5 e 3,5 metros, com 92,86% e 90,24%, respectivamente. Apenas 2,31% das ultrapassagens na faixa de 4,0 metros foram menores do que 1,0 metro, seguido de 25,06% nas faixas de 3,0 metros, 41,84% nas faixas de 2,5 metros e 55,36% nas faixas de 3,5 metros. Para verificar se existe diferença estatística, foi realizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, conforme Tabela 20 a seguir.

Tabela 20 - Kruskal-Wallis dos dados de distância lateral em relação a largura da faixa

Qui-quadrado	197.07
p-valor	2.2e-16

Fonte: próprio autor

Como p-valor é menor do que 0,05, é possível afirmar que há diferença significativa entre pelo menos um dos grupos. Para determinar entre quais grupos existe diferença, foi realizada o teste post-hoc de Dunn, com p-valor ajustado. Os resultados do teste são apresentados na Tabela 21 a seguir.

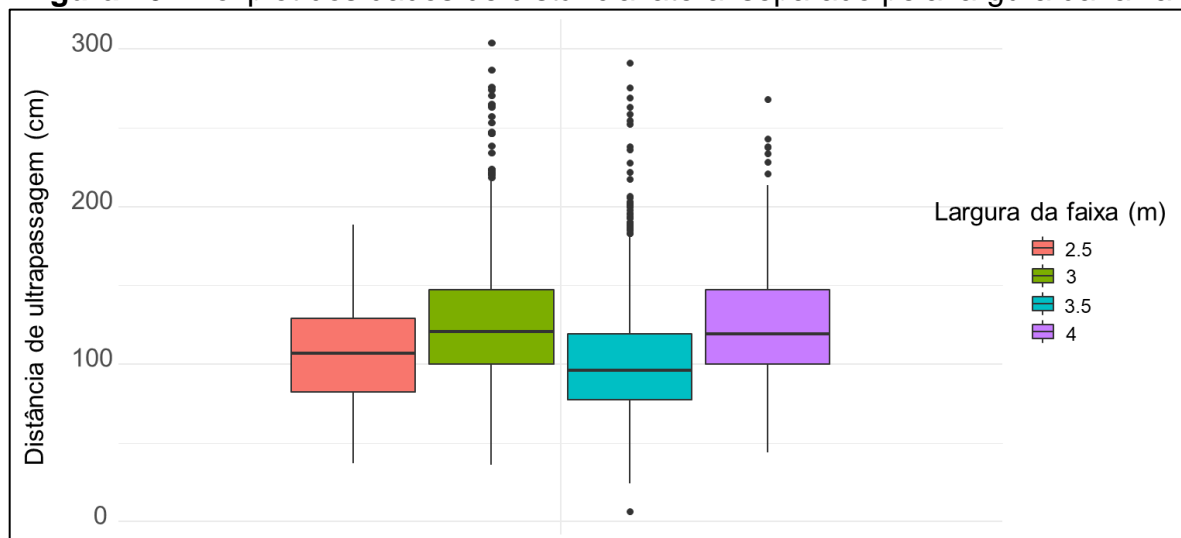
Tabela 21 – Teste de Dunn dos dados de distância lateral em relação a largura da faixa

Grupo 1	Grupo 2	n1	N2	Estatística do teste	p-valor ajustado
2.5	3	98	451	4.23	1.41e- 4
2.5	3.5	98	1353	-2.15	1.89e- 1
2.5	4	98	130	3.52	2.60e- 3
3	3.5	451	1353	-12.8	8.86e-37
3	4	451	130	-0.00627	1.00e+ 0
3.5	4	1353	130	7.58	2.11e-13

Fonte: próprio autor

Os resultados indicam que as vias com faixa de 3,0 e 4,0 metros se diferenciaram das vias de 2,5 e 3,5 metros. Foi elaborado um gráfico boxplot para comparar os quatro grupos, conforme mostra a Figura 16 a seguir.

Figura 16 - Boxplot dos dados de distância lateral separado pela largura da faixa



Fonte: próprio autor

É possível perceber que os valores de distância lateral das faixas com largura de 3,0 e 4,0 metros foram maiores do que nas vias com 2,5 e 3,5 metros. O fato de as vias com ciclofaixa possuírem 3,0 metros de largura de faixa pode ter contribuído com esse resultado. Nas faixas de 4,0 metros de largura, havia espaço suficiente para que os veículos realizassem a ultrapassagem com uma distância lateral maior.

4.4 VELOCIDADE DE ULTRAPASSAGEM

Das 2032 ultrapassagens identificadas ao longo das 36 viagens, foi possível captar a velocidade de ultrapassagem em 969 ultrapassagens. Com o objetivo de identificar os fatores que influenciam na velocidade de ultrapassagem, as seguintes variáveis foram estudadas: distância de ultrapassagem, velocidade da bicicleta, tipo do veículo, presença de estacionamento, presença de ciclofaixa, período do dia, dia da semana, limite de velocidade da via e hierarquia viária. Os dados de cada uma das variáveis são analisados a seguir:

4.4.1 Teste De Normalidade

Com o objetivo de verificar se os dados seguem distribuição normal, foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk. O teste foi feito para cada grupo de cada uma das variáveis independentes. Os resultados do teste são apresentados na Tabela 22 a seguir.

Tabela 22 – Teste Shapiro-Wilk dos dados de velocidade de ultrapassagem

Variável	p-valor
Ciclofaixa	
Sim	5.71E-05
Não	8.36E-13
Estacionamento	
Sim	5.35E-12
Não	0.3545
Tipo de veículo	
Passeio	1.23E-14
Utilitário	0.0005063
Pesado	0.1922
Período do dia	
Manhã	2.71E-12
Tarde	1.46E-06
Dia da Semana	
Segunda	0.0001543
Terça	4.76E-06
Quarta	0.0008816
Quinta	3.82E-06
Sexta	2.31E-07
Limite de velocidade	
40	2.33E-07
50	6.24E-06
60	0.006173
Hierarquia Viária	
Arterial	4.06E-07
Coletora	2.01E-07
Local	0.9051
Largura da faixa	
2.5	0.1262
3.0	6.247e-09
3.5	7.535e-15
4.0	0.4448

Fonte: próprio autor

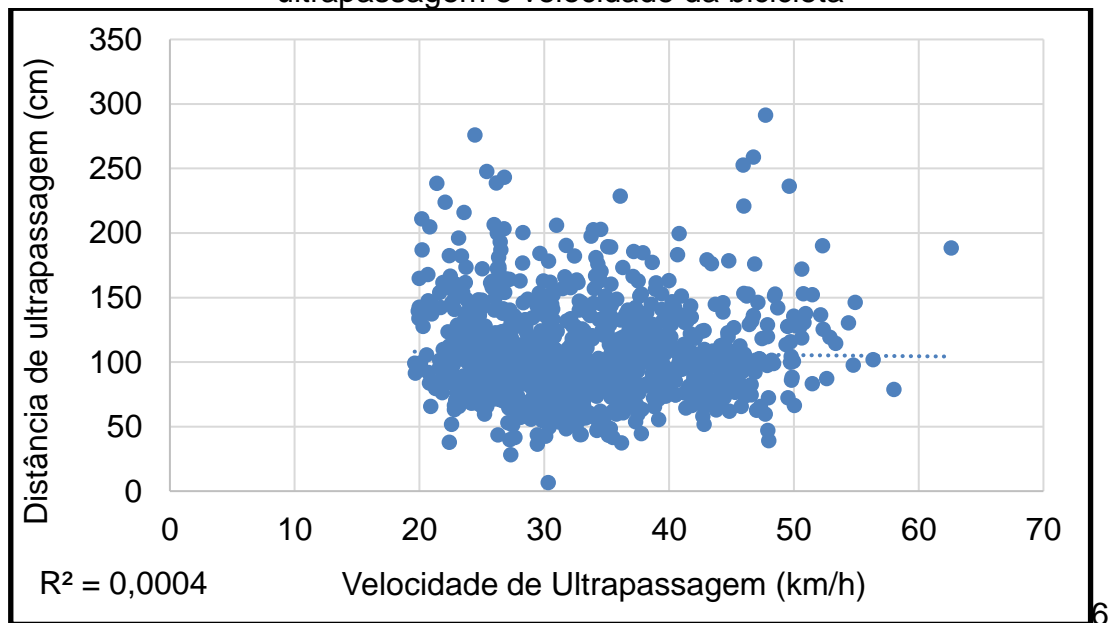
Conforme pode ser visto na tabela, houve pelo menos um grupo no qual o p-valor foi menor do que o nível de significância de 0,05 para todas as variáveis independentes estudadas. Isso indica que os dados não seguem distribuição normal e, dessa forma, existe a necessidade da realização de testes não paramétricos para determinar se existe diferença significativa entre os grupos das variáveis independentes.

Para as variáveis independentes com até dois grupos, foi realizado o teste de Wilcoxon-Mann-Whitney, enquanto que para as variáveis independentes com mais de dois grupos foi realizado o teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Dunn, caso necessário.

4.4.2 Distância Lateral De Ultrapassagem

Com o objetivo de verificar se existe correlação entre os dados de distância lateral e a velocidade da bicicleta no momento da ultrapassagem, foi gerado um gráfico de dispersão, o qual é apresentado na Figura 17 a seguir.

Figura 17 - Gráfico de dispersão entre os dados de distância lateral de ultrapassagem e velocidade da bicicleta



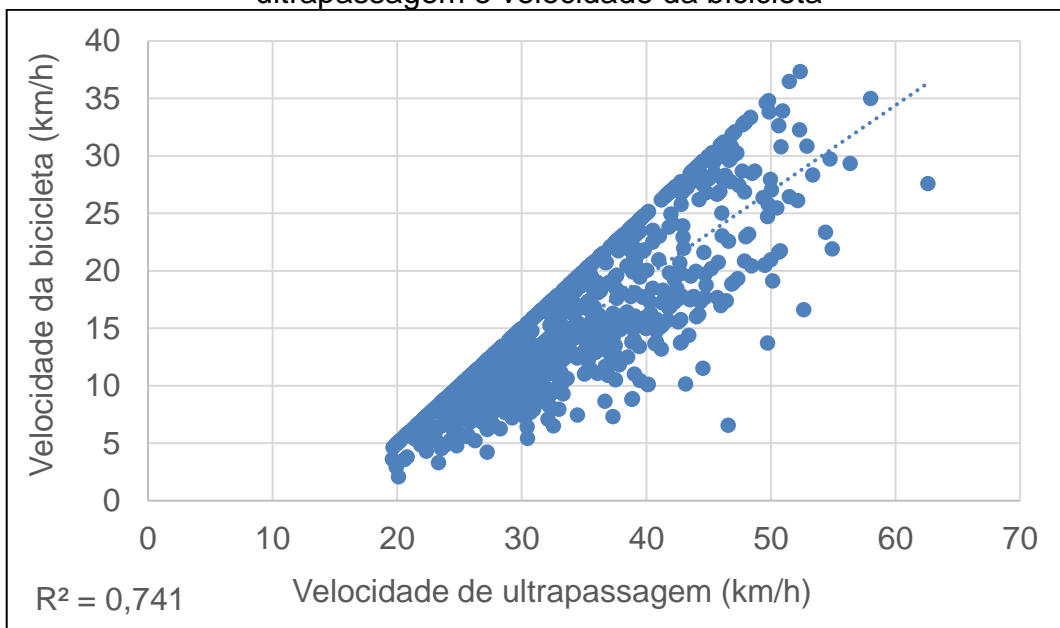
Fonte: próprio autor

É possível perceber pela distribuição dos dados que não há relação aparente entre as duas variáveis. O valor de $R^2 = 0,0004$ indica que não há relação estatística entre a velocidade de ultrapassagem e a distância lateral entre o veículo e o ciclista no momento da ultrapassagem.

4.4.3 Velocidade Da Bicicleta

Com o objetivo de verificar se existe correlação entre os dados de distância lateral e a velocidade da bicicleta no momento da ultrapassagem, foi gerado um gráfico de dispersão, o qual é apresentado na Figura 18 a seguir.

Figura 18 - Gráfico de dispersão entre os dados de distância lateral de ultrapassagem e velocidade da bicicleta



Fonte: próprio autor

É possível perceber pela distribuição dos dados que há relação entre as duas variáveis. O valor de $R^2 = 0,741$ indica que há uma correlação forte entre a velocidade da bicicleta e a velocidade de ultrapassagem entre o veículo e o ciclista no momento da ultrapassagem. Um dos fatores que pode explicar essa correlação é o fato de que a velocidade de ultrapassagem do veículo é a soma entre a velocidade relativa de aproximação do veículo com a velocidade da bicicleta.

4.4.4 Presença De Ciclofaixa

Com o objetivo de verificar se a presença ou não de ciclofaixa influenciou na velocidade de ultrapassagem, foi gerada uma tabela com a estatística descritiva com os dados dos dois grupos, além de ter sido feito um teste estatístico para verificar se existe diferença significativa entre eles. A Tabela 23 a seguir apresenta a estatística

descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação à presença ou não de ciclofaixa.

Tabela 23 - Estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação a presença ou não de ciclofaixa

Presença de ciclofaixa	Sim	Não
Média	25.10	33.95
Erro padrão	0.33	0.26
Mediana	24.45	32.83
Desvio padrão	3.57	7.53
Mínimo	19.89	19.61
Máximo	37.32	62.59
Contagem	118	851

Fonte: próprio autor

A estatística descritiva indica que tanto a média como a mediana do grupo sem ciclofaixa foi maior do que o grupo com ciclofaixa. Para verificar se existe diferença estatística entre os dois grupos, foi realizado o teste não-paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney, conforme Tabela 24 a seguir.

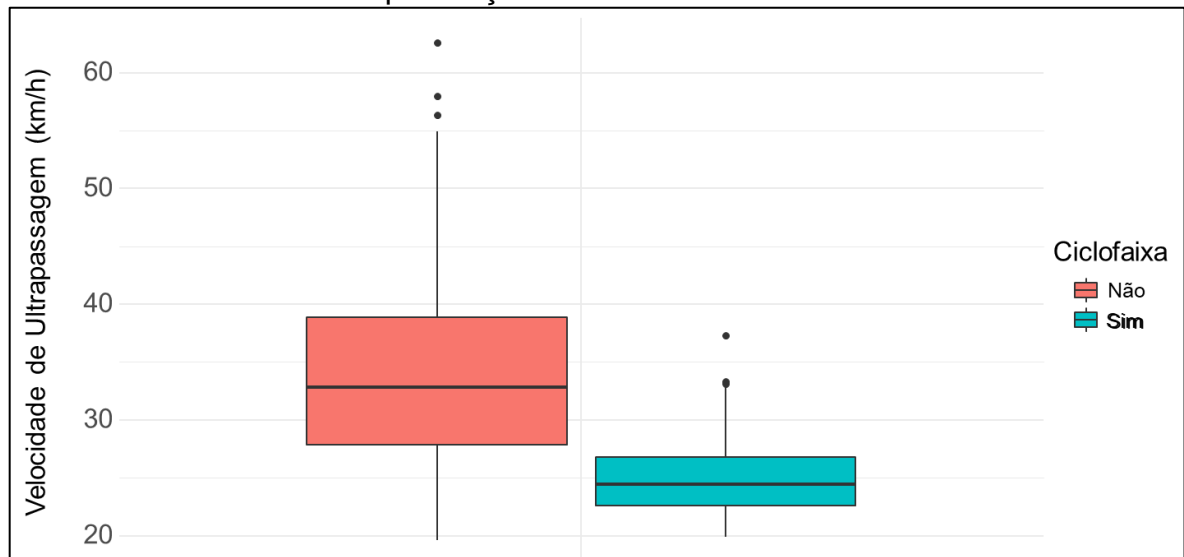
Tabela 24 - Teste Wilcoxon-Mann-Whitney dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação a presença ou não de ciclofaixa

W	86868
p-valor	2.2e-16

Fonte: próprio autor

Como o p-valor do teste foi menor do que 0,05, é possível concluir que há diferença significativa entre os grupos. Foi elaborado um gráfico boxplot para compará-los, conforme mostra a Figura 19 a seguir.

Figura 19 - Boxplot dos dados de velocidade de ultrapassagem separado pela presença ou não de ciclofaixa



Fonte: próprio autor

É possível perceber que as velocidades de ultrapassagem do grupo sem ciclofaixa ficaram acima das do grupo com ciclofaixa. Um fator que pode explicar esse resultado é o fato de as ciclofaixas estarem localizadas em vias coletoras e com limite de velocidade de 40 km/h, o que torna menos provável que os veículos trafeguem com velocidade mais altas.

4.4.5 Presença De Estacionamento

Com o objetivo de verificar se a presença ou não de estacionamento influenciou na velocidade de ultrapassagem, foi gerada uma tabela com a estatística descritiva com os dados dos dois grupos, além de ter sido feito um teste estatístico para verificar se existe diferença significativa entre eles. A Tabela 25 a seguir apresenta a estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação à presença ou não de estacionamento.

Tabela 25 - Estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação a presença ou não de estacionamento

Presença de estacionamento	Sim	Não
Média	30.95	42.79
Erro padrão	0.22	0.53
Mediana	30.11	43.61
Desvio padrão	6.32	6.70
Mínimo	19.61	25.67
Máximo	52.63	62.59
Contagem	812	157

Fonte: próprio autor

A estatística descritiva indica que tanto a média como a mediana do grupo que não possuía estacionamento foi maior do que o grupo que possuía. Para verificar se existe diferença estatística entre os dois grupos, foi realizado o teste não-paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney, conforme Tabela 26 a seguir.

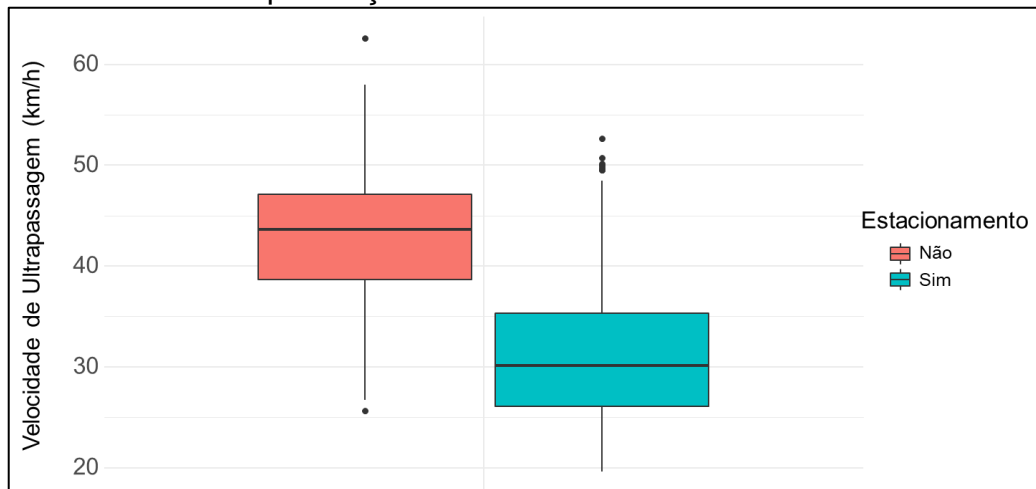
Tabela 26 - Teste Wilcoxon-Mann-Whitney dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação a presença ou não de estacionamento

W	113552
p-valor	2.20E-16

Fonte: próprio autor

Como p-valor do teste foi menor do que 0,05, é possível concluir que há diferença significativa nos valores de velocidade de ultrapassagem nos trechos com e sem estacionamento. Foi elaborado um gráfico boxplot para comparar os dois grupos, conforme mostra a Figura 20 a seguir.

Figura 20 - Boxplot dos dados de velocidade de ultrapassagem separado pela presença ou não de estacionamento



Fonte: próprio autor

É possível perceber que as velocidades de ultrapassagem do grupo com estacionamento ficaram abaixo do grupo sem estacionamento. Isso pode ser explicado pelo fato de que o trecho principal sem estacionamento estava na Avenida JK, que é uma via arterial e possui limite de velocidade de 60 km/h, o que acabou por fazer com que os veículos trafegassem com maior velocidade do que nos demais trechos.

4.4.6 Período Do Dia

Com o objetivo de verificar se o período do dia influenciou na velocidade de ultrapassagem, foi gerada uma tabela com a estatística descritiva com os dados dos dois grupos, além de ter sido feito um teste estatístico para verificar se existe diferença significativa entre eles. A Tabela 27 a seguir apresenta a estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao período do dia.

Tabela 27 - Estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao período do dia

Período do dia	Manha	Tarde
Média	33.34	32.01
Erro padrão	0.32	0.38
Mediana	32.02	30.67
Desvio padrão	8.09	6.93
Mínimo	19.61	19.89
Máximo	62.59	51.47
Contagem	630	339

Fonte: próprio autor

A estatística descritiva indica que tanto a média como a mediana dos grupos não possuem diferença aparente. Para verificar se existe diferença estatística entre os dois grupos, foi realizado o teste não-paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney, conforme Tabela 28 a seguir.

Tabela 28 - Teste Wilcoxon-Mann-Whitney dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao período do dia

W	114751
p-valor	0.05524

Fonte: próprio autor

Como p-valor do teste foi maior do que 0,05, é possível concluir que não houve variação significativa nos valores de distância lateral de ultrapassagem entre os períodos da manhã e da tarde.

4.4.7 Dia Da Semana

Com o objetivo de verificar se o dia da semana em que a viagem foi realizada influenciou na velocidade de ultrapassagem, foi gerada uma tabela com a estatística descritiva com os dados dos dois grupos, além de terem sido feitos testes estatísticos para verificar se existe diferença significativa entre eles. A Tabela 29 a seguir apresenta a estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao dia da semana.

Tabela 29 - Estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em

relação ao dia da semana					
Dia da semana	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Média	33.36	33.00	33.13	32.69	32.43
Erro padrão	0.68	0.49	0.65	0.52	0.51
Mediana	31.91	31.50	32.43	30.82	30.89
Desvio padrão	8.43	7.44	7.57	7.92	7.44
Mínimo	20.06	19.93	19.61	19.89	20.19
Máximo	58.00	52.28	49.95	56.34	62.59
Contagem	152	229	136	236	216

Fonte: próprio autor

A estatística descritiva indica que tanto a média como a mediana dos grupos não possuem diferença aparente. Para verificar se existe diferença estatística entre os cinco grupos, foi realizado o teste não-paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney, conforme Tabela 30 a seguir.

Tabela 30 – Teste de Kruskal-Wallis dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao dia da semana

Qui-quadrado	1.5195
p-valor	0.8232

Fonte: próprio autor

Como p-valor do teste foi maior do que 0,05, é possível concluir que não houve variação significativa nos valores de velocidade de ultrapassagem entre os dias da semana.

4.4.8 Limite De Velocidade

Com o objetivo de verificar se o limite de velocidade da via influenciou na velocidade de ultrapassagem, foi gerada uma tabela com a estatística descritiva com os dados dos três grupos, além de terem sido feitos testes estatísticos para verificar se existe diferença significativa entre eles. A Tabela 31 a seguir apresenta a estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação aos limites de velocidade da via.

Tabela 31 - Estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao limite de velocidade da via

Limite de velocidade	40	50	60
Média	29.04	28.34	38.97
Erro padrão	0.26	0.36	0.36
Mediana	28.67	27.21	38.65
Desvio padrão	5.33	4.53	6.98
Mínimo	19.65	19.61	24.28
Máximo	44.71	46.56	62.59
Contagem	426	158	385

Fonte: próprio autor

A estatística descritiva indica uma diferença aparente tanto na média como na mediana no grupo de 60 km/h em relação aos grupos de 40 e 50 km/h. Para verificar se existe diferença estatística, foi realizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, conforme Tabela 32 a seguir.

Tabela 32 – Teste de Kruskal-Wallis dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao limite de velocidade da via

Qui-quadrado	396.08
p-valor	2.2e-16

Fonte: próprio autor

Como p-valor foi menor do que 0,05, é possível afirmar que há diferença significativa entre pelo menos um dos grupos. Para determinar entre quais grupos existe diferença, foi realizada o teste post-hoc de Dunn, com p-valor ajustado. Os resultados do teste são apresentados na Tabela 33 a seguir.

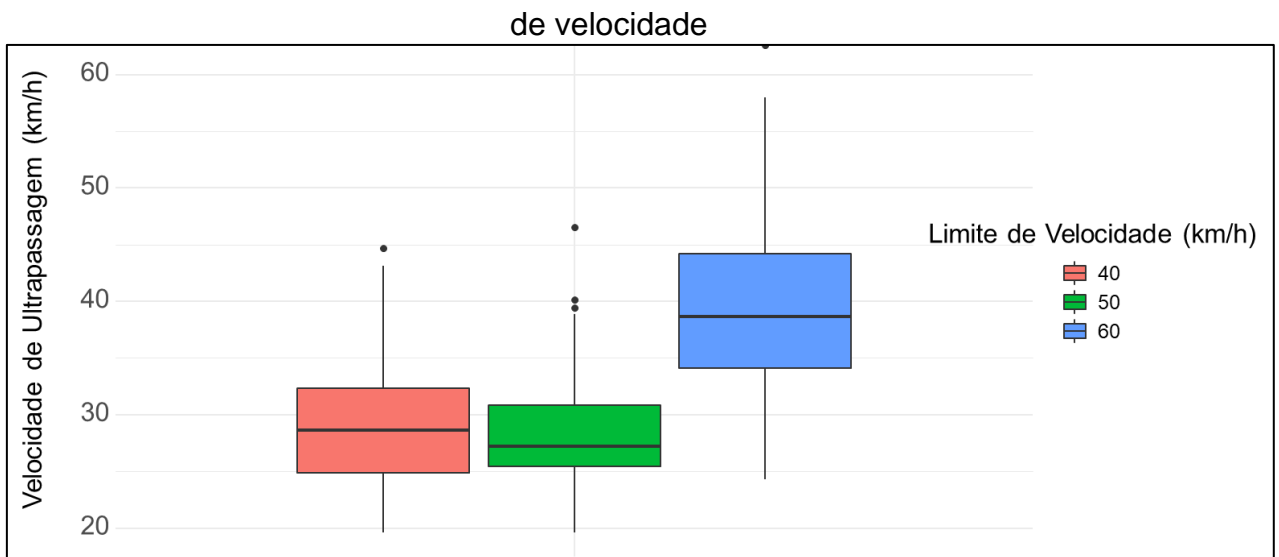
Tabela 33 – Teste de Dunn dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao limite de velocidade da via

Grupo 1	Grupo 2	n1	N2	Estatística do teste	p-valor ajustado
40	50	426	158	-1,25	6.32e- 1
40	60	426	385	18,1	1.05e-72
50	60	158	385	14,7	1.90e-48

Fonte: próprio autor

Os resultados indicam que há diferença significativa entre os grupos 40 e 60 e entre os grupos 50 e 60. Foi elaborado um gráfico boxplot para comparar os três grupos, conforme mostra a Figura 21 a seguir.

Figura 21 - Boxplot dos dados de velocidade de ultrapassagem separado pelo limite



É possível perceber que as velocidades de ultrapassagem do grupo com limite de 60 km/h ficaram acima dos demais grupos. Pode-se dizer que esse resultado era esperado, já que maiores limites de velocidade tendem a gerar maiores velocidades. Chama atenção o fato de não ter sido verificada diferença entre os grupos com limites de 40 e 50 km/h.

4.4.9 Hierarquia Viária

Com o objetivo de verificar se a hierarquia viária influenciou na velocidade de ultrapassagem, foi gerada uma tabela com a estatística descritiva com os dados dos três grupos, além de terem sido feitos testes estatísticos para verificar se existe diferença significativa entre eles. A Tabela 34 a seguir apresenta a estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação à hierarquia viária.

Tabela 34 - Estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação a hierarquia viária

Hierarquia viária	Arterial	Coletora	Local
Média	35.88	29.00	31.13
Erro padrão	0.34	0.26	1.55
Mediana	35.48	28.54	30.44
Desvio padrão	7.99	5.34	4.38
Mínimo	19.61	19.65	24.69
Máximo	62.59	44.71	39.08
Contagem	543	418	8

Fonte: próprio autor

A estatística descritiva indica uma diferença aparente tanto na média como na mediana dos valores de velocidade de ultrapassagem do grupo arterial em relação aos demais grupos. Para verificar se existe diferença estatística, foi realizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, conforme Tabela 35 a seguir.

Tabela 35 – Teste de Kruskal-Wallis dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação a hierarquia viária

Qui-quadrado	181.02
p-valor	2.2e-16

Fonte: próprio autor

Como p-valor é menor do que 0,05, é possível afirmar que há diferença significativa entre pelo menos um dos grupos. Para determinar entre quais grupos existe diferença, foi realizada o teste post-hoc de Dunn, com p-valor ajustado. Os resultados do teste são apresentados na Tabela 36 a seguir.

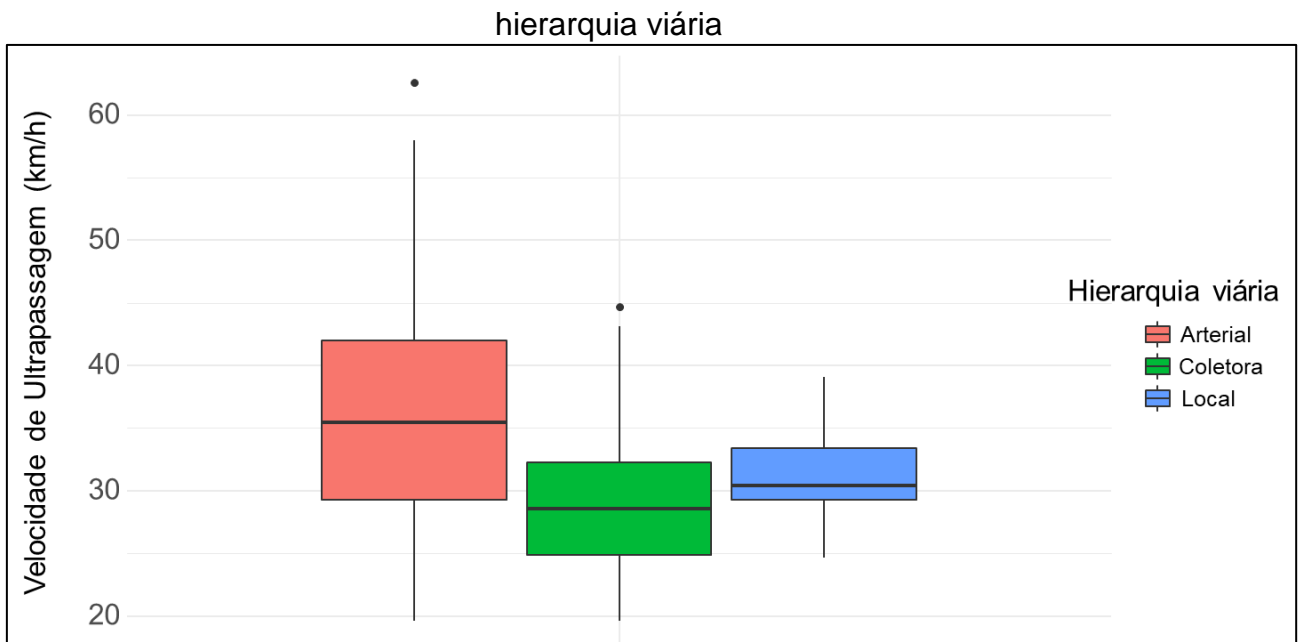
Tabela 36 – Teste de Dunn dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação a hierarquia viária

Grupo 1	Grupo 2	n1	N2	Estatística do teste	p-valor ajustado
Arterial	Coletora	543	418	-13,4	9.31e-41
Arterial	Local	543	8	-1,43	4.60e- 1
Coletora	Local	418	8	1,03	9.12e- 1

Fonte: próprio autor

Os resultados indicam que há diferença significativa entre os grupos Arterial e Coletora. Foi elaborado um gráfico boxplot para comparar os três grupos, conforme mostra a Figura 22 a seguir.

Figura 22 - Boxplot dos dados de velocidade de ultrapassagem separado pela



Fonte: próprio autor

É possível perceber que os valores das velocidades de ultrapassagem nas vias arteriais foram maiores do que nas coletoras. No entanto, segundo o teste de Dunn, não houve diferença entre os grupos arterial e local, o que vai contra o esperado. No entanto, o tamanho da amostra das vias locais é pequeno, de apenas 8 ultrapassagens, enquanto a amostra das vias arteriais é de 543 e das coletoras, 418.

4.4.10 Tipo Do Veículo

Com o objetivo de verificar se o tipo do veículo influenciou na velocidade de ultrapassagem, foi gerada uma tabela com a estatística descritiva com os dados dos três grupos, além de terem sido feitos testes estatísticos para verificar se existe diferença significativa entre eles. A Tabela 37 a seguir apresenta a estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao tipo de veículo.

Tabela 37 - Estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao tipo do veículo

Tipo de veículo	Passeio	Utilitário	Pesado
Média	32.68	33.40	35.77
Erro padrão	0.27	0.74	1.20
Mediana	31.09	32.16	36.54
Desvio padrão	7.79	7.06	7.52
Mínimo	19.61	21.61	21.39
Máximo	62.59	52.63	49.72
Contagem	838	92	39

Fonte: próprio autor

A estatística descritiva indica uma diferença mais expressiva na mediana do grupo pesado em relação aos outros grupos. Para verificar se existe diferença estatística, foi realizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, conforme Tabela 38 a seguir.

Tabela 38 – Teste de Kruskal-Wallis dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao tipo do veículo

Qui-quadrado	8.0024
p-valor	0.01829

Fonte: próprio autor

Como p-valor é menor do que 0,05, é possível afirmar que há diferença significativa entre pelo menos um dos grupos. Para determinar entre quais grupos existe diferença, foi realizada o teste post-hoc de Dunn, com p-valor ajustado. Os resultados do teste são apresentados na Tabela 39 a seguir:

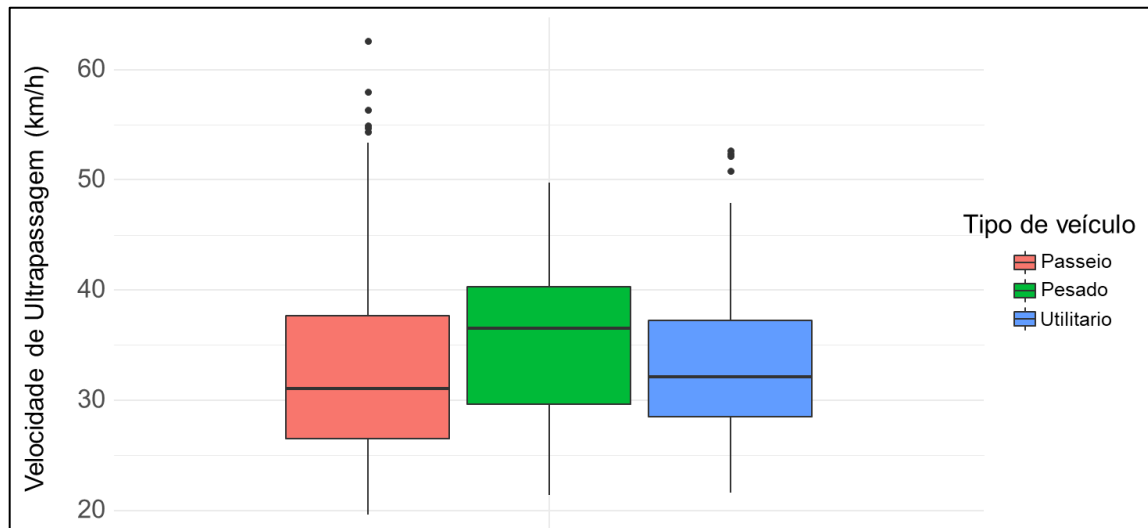
Tabela 39 – Teste de Dunn dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação ao tipo do veículo

Grupo 1	Grupo 2	n1	n2	Estatística do teste	p-valor ajustado
Passeio	Pesado	838	39	2,65	0,0242
Passeio	Utilitário	838	92	1,17	0,731
Pesado	Utilitário	39	92	-1,60	0,328

Fonte: próprio autor

Os resultados indicam que há diferença significativa entre os grupos Passeio e Pesado. Foi elaborado um gráfico boxplot para comparar os três grupos, conforme mostra a Figura 23 a seguir

Figura 23 - Boxplot dos dados de velocidade de ultrapassagem separado pelo tipo do veículo



Fonte: próprio autor

É possível perceber que a mediana do grupo utilitário ficou um pouco acima do grupo passeio, o que fez com que os dados de velocidade não possuíssem diferença significativa com os dados do grupo pesado. O resultado dos testes e o gráfico *boxplot* indicam que as velocidades de ultrapassagem dos veículos pesados foram maiores do que os de veículos de passeio. Esse resultado pode indicar uma situação perigosa para o ciclista, já que o veículo pesado oferece mais riscos de um acidente grave. No entanto, cabe ressaltar que o tamanho da amostra de veículos pesados é de apenas 39 ultrapassagens, enquanto a de veículos de passeio é de 838, o que pode ter influenciado nos resultados.

4.4.11 Largura Da Faixa

Com o objetivo de verificar se a largura da faixa influenciou na velocidade de ultrapassagem, foi gerada uma tabela com a estatística descritiva com os dados dos três grupos, além de terem sido feitos testes estatísticos para verificar se existe diferença significativa entre eles. A Tabela 40 a seguir apresenta a estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação à largura da faixa.

Tabela 40 - Estatística descritiva dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação a largura da faixa

Largura da faixa	2.5	3	3.5	4
Média	36.75	28.63	33.40	34.23
Erro padrão	0.64	0.55	0.31	0.64
Mediana	35.99	25.99	31.37	34.11
Desvio padrão	5.11	7.00	7.92	5.43
Mínimo	24.69	19.89	19.61	21.39
Máximo	48.43	50.13	62.59	45.98
Contagem	64	164	669	72

Fonte: próprio autor

A estatística descritiva indica uma diferença aparente na média e na mediana principalmente do grupo de 3,0 metros em relação aos demais grupos. Para verificar se existe diferença estatística, foi realizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, conforme Tabela 41 a seguir.

Tabela 41 – Teste de Kruskal-Wallis dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação a largura da faixa

Qui-quadrado	91.026
p-valor	2.2e-16

Fonte: próprio autor

Como p-valor é menor do que 0,05, é possível afirmar que há diferença significativa entre pelo menos um dos grupos. Para determinar entre quais grupos existe diferença, foi realizada o teste post-hoc de Dunn, com p-valor ajustado. Os resultados do teste são apresentados na Tabela 42 a seguir:

Tabela 42 – Teste de Dunn dos dados de velocidade de ultrapassagem em relação a largura da faixa

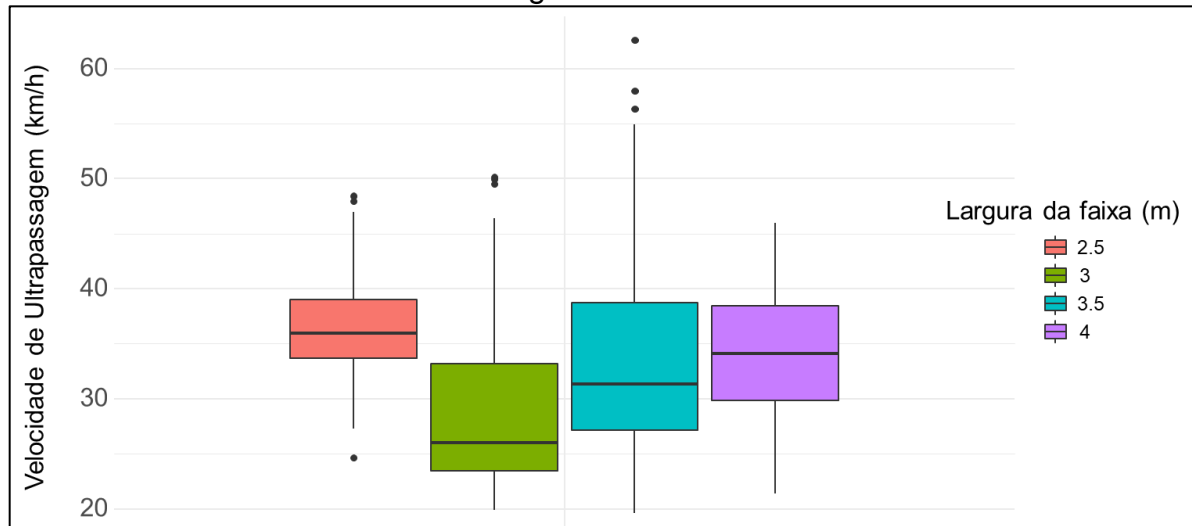
Grupo 1	Grupo 2	n1	N2	Estatística do teste	p-valor ajustado
2.5	3	64	164	-8.27	7.85e-16
2.5	3.5	64	669	-4.35	8.01e- 5
2.5	4	64	72	-1.95	3.08e- 1
3	3.5	164	669	7.45	5.41e-13
3	4	164	72	6.26	2.37e- 9
3.5	4	669	72	1.89	3.50e- 1

Fonte: próprio autor

Os resultados indicam que há diferença significativa nas vias com faixa de 3,0 metros em relação às faixas de 2,5, 3,5 e 4,0 metros. Também houve

diferença significativa entre as faixas de 2,5 e 4,5. Foi elaborado um gráfico boxplot para comparar os três grupos, conforme mostra a Figura 24 a seguir

Figura 24 - Boxplot dos dados de velocidade de ultrapassagem separado pela largura da faixa



Fonte: próprio autor

É possível perceber, a partir da análise da estatística descritiva e do gráfico *boxplot*, que as velocidades de ultrapassagem nas faixas com 2,5 metros ficaram acima das vias com 3,0 e 3,5 metros. Os dados nas vias de 3,0 metros ficaram abaixo das vias de 3,5 e 4,0 metros. Além disso, os dados das vias com 4,0 metros ficaram acima das vias com 3,5 metros. É interessante notar que, mais uma vez, as vias de 3,0 metros, nas quais estão presentes as ciclofaixas, garantiram uma situação mais favorável ao ciclista. Chama atenção o fato de os dados das vias com 4,0 metros, que são vias coletoras, terem ficado acima das vias com 3,0 e 3,5 metros. Isso pode indicar que devido ao maior espaço, os motoristas acabaram por trafegar com uma velocidade maior. Cabe ressaltar que nas vias com 4,0 metros, existe espaço suficiente para a construção de infraestrutura cicloviária, o que tornaria o ambiente mais seguro para o ciclista. É necessário ressaltar que as amostras não são semelhantes, já que nas vias com 3,5 metros a amostra é de 669 ultrapassagens, enquanto nas de 2,5, 3,0 e 4,0 metros, é de 64, 164 e 72 ultrapassagens, respectivamente. Essa disparidade pode ter interferido nos resultados.

5 CONCLUSÕES

Esta pesquisa teve como objetivo a identificação de fatores que influenciam a distância lateral e a velocidade de ultrapassagem entre um veículo motorizado e um ciclista. É possível afirmar que esse objetivo foi cumprido, já que ao longo do trabalho foi possível demonstrar que diversos fatores afetaram tanto a distância lateral, como a velocidade de ultrapassagem.

Quanto ao equipamento utilizado, o dispositivo teve um excelente desempenho em relação à distância lateral, coordenadas geográficas e velocidade da bicicleta, de modo que obteve essas informações para 100% das ultrapassagens. Já com relação à velocidade de ultrapassagem, foi possível obter os dados de aproximadamente 48% das ultrapassagens. Isso indica que o dispositivo precisa ser melhorado, de modo que aumente a eficácia em relação à velocidade de ultrapassagem, mas a amostra obtida foi considerada satisfatória, de modo que permitiu analisar a influência de diversos fatores na velocidade de ultrapassagem.

Em relação à distância lateral de ultrapassagem, foi possível identificar influência dos seguintes fatores: presença de ciclofaixa, limite de velocidade da via, hierarquia viária, tipo do veículo e largura da faixa.

Os resultados de distância lateral nos trechos com e sem ciclofaixa mostraram que a presença de ciclofaixa cumpriu um papel essencial no aumento da segurança do ciclista. Além de as distâncias laterais terem sido, na média, maiores nos trechos com ciclofaixa, foi possível perceber que a presença de infraestrutura impediu que ultrapassagens com distâncias muito baixas ocorressem, de modo que nenhuma ultrapassagem nos trechos que possuíam ciclofaixa teve distância lateral menor do que 50 cm.

A hierarquia viária e o limite de velocidade estão quase sempre relacionados, de forma que existe a tendência de o limite de velocidade ser maior em vias arteriais, seguido das vias coletoras e locais. As vias com limite de 40 km/h tiveram distâncias laterais maiores do que as que possuíam maior limite de velocidade e, em relação à hierarquia viária, as distâncias laterais foram menores nas vias arteriais do que nas coletoras e locais. Essas duas informações indicam para uma situação na qual a distância lateral é menor em vias com maior limite de velocidade e que são consideradas arteriais na hierarquia viária. Esses resultados indicam uma

situação que não é favorável ao ciclista, já que pode haver a combinação de distância lateral baixa e velocidade de ultrapassagem alta. Além disso, esses dados corroboram para a necessidade de construção de infraestrutura cicloviária em vias arteriais, de modo que o tráfego de ciclistas seja segregado do tráfego de veículos motorizados.

Como o experimento foi realizado na área urbana, existiam mais veículos de passeio do que veículos utilitários e pesados. Isso fez com que a amostra dos dados de distância lateral para cada tipo de veículo fosse relativamente diferente, o que pode ter influenciado nos resultados. Os dados de distância lateral dos veículos pesados foram menores que dos veículos de passeio e utilitários. Apesar de esperado, já que os veículos pesados são mais largos e, conseqüentemente tem menos espaço para ultrapassar o ciclista, essa é uma situação que apresenta risco de acidentes graves, já que a diferença de peso entre o veículo e a bicicleta é grande.

Quanto à largura da faixa, as distâncias laterais foram maiores nas vias com faixas de 3,0 e 4,0 metros do que nas vias com faixa de 2,5 e 3,5 metros. Nas vias com faixas de 4,0 metros de largura parece existir espaço suficiente para que os veículos realizem a ultrapassagem com uma distância lateral maior, de forma que apenas 2,31% das ultrapassagens foi realizada com distância lateral menor do que 1,0 metro. Cabe destacar que as vias com 4,0 metros de largura, assim como as de 3,5 metros, comportam a construção de infraestrutura cicloviária sem que seja necessário retirar espaço dos veículos motorizados, o que garantiria uma segurança ainda maior para os ciclistas.

Para o caso específico desse estudo, as variáveis velocidade da bicicleta, presença de estacionamento, período do dia e dia da semana não influenciaram na distância lateral de ultrapassagem. Cabe ressaltar que as características da rota utilizada, que estava presente na região central da área urbana de Londrina-PR, e o fato de que a coleta de dados ocorreu durante a pandemia provocada pelo COVID-19, podem ter influenciado nesses resultados.

Em relação à velocidade de ultrapassagem, foi possível identificar a influência dos seguintes fatores: presença de ciclofaixa, presença de estacionamento, limite de velocidade, hierarquia viária, tipo do veículo e largura da faixa.

As velocidades de ultrapassagem nas vias com ciclofaixa foram menores que nas vias que não possuíam ciclofaixa. Isso pode ser explicado pelo fato de os trechos com ciclofaixa estavam localizadas em vias com limite de velocidade de 40

km/h, o que pode ter feito com que os motoristas trafegassem com velocidade mais baixa.

A variável presença de estacionamento sofreu influência do experimento ter sido realizado na área urbana, de modo que a maior parte do trecho experimental possui estacionamento na via. Isso fez com que o tamanho da amostra de dados de velocidade de ultrapassagem em trechos sem estacionamento fosse pequeno. Os trechos da rota que não possuíam estacionamento tiveram velocidades de ultrapassagem maiores do que nas vias que possuíam estacionamento. Isso pode ser explicado pelo fato de os trechos sem estacionamento estarem em vias com limite de velocidade mais alto, o que acabou por influenciar nas velocidades de ultrapassagem.

Como já exposto anteriormente, o limite de velocidade e a hierarquia da via são dois fatores que normalmente estão relacionados, de modo que as vias arteriais possuem limite de velocidade maior do que as vias coletoras e locais. Em relação a esses fatores, os resultados foram os esperados, com os dados de velocidade de ultrapassagem das vias com maior limite de velocidade e das vias arteriais sendo maiores que os outros grupos.

Quanto ao tipo do veículo, cabe ressaltar novamente a disparidade do tamanho das amostras, o que pode ter influenciado nos resultados, que indicaram que as velocidades de ultrapassagem dos veículos pesados foram maiores que dos veículos de passeio e utilitários. Esse resultado indica uma situação perigosa para o ciclista, já que o veículo pesado oferece mais riscos de um acidente grave, além de corroborar para a necessidade de implantação de infraestrutura cicloviária em vias com tráfego mais intenso de veículos pesados, de modo que o ciclista não tenha que compartilhar a pista.

Em relação à largura da faixa, os dados de velocidade de ultrapassagem nas vias com 4,0 metros, que são vias coletoras, ficaram acima das vias com 3,0 e 3,5 metros. Isso pode indicar que, devido ao maior espaço, os motoristas acabaram por trafegar com uma velocidade maior. Assim como ocorreu com outras variáveis independentes, também houve disparidade no tamanho das amostras, de modo que a maioria das ultrapassagens foi realizada em vias com 3,0 m ou 3,5 m.

Para o caso específico desse estudo, as variáveis distância lateral, período do dia e dia da semana não influenciaram na distância lateral de ultrapassagem. Cabe ressaltar que as características da rota utilizada, que estava

presente na região central da área urbana de Londrina-PR, e o fato de que a coleta de dados ocorreu durante a pandemia provocada pelo COVID-19, podem ter influenciado nesses resultados.

A conjugação dos fatores distância lateral e velocidade de aproximação pode criar um ambiente perigoso para o tráfego de ciclistas, o que pode causar acidentes, além de criar uma barreira psicológica que pode impedir que mais pessoas adotem a bicicleta como meio de transporte. Os resultados apresentados nesse trabalho oferecem uma importante fonte de informação para a tomada de decisão dos gestores públicos, principalmente com relação à importância da infraestrutura cicloviária para a segurança do ciclista. Cidades que possuem como objetivo aumentar o número de usuários da bicicleta devem investir em infraestrutura, mesmo que nas mais simples, como as ciclofaixas existentes na rota utilizada para o experimento.

REFERÊNCIAS

- ALDRED, R.; CROSWELLER, S. Investigating the rates and impacts of near misses and related incidents among UK cyclists. **Journal of Transport and Health**, v. 2, n. 3, p. 379–393, 2015.
- ANTP. Sistema de Informações da Mobilidade Urbana da Associação Nacional de Transportes Público - Simob/ANTP: Relatório geral 2016. **ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos**, p. 110, 2016.
- APASNORE, P.; ISMAIL, K.; KASSIM, A. Bicycle-vehicle interactions at mid-sections of mixed traffic streets: Examining passing distance and bicycle comfort perception. **Accident Analysis and Prevention**, v. 106, p. 141–148, 2017.
- BELLA, F.; SILVESTRI, M. Interaction driver–bicyclist on rural roads: Effects of cross-sections and road geometric elements. **Accident Analysis & Prevention**, v. 102, p. pp 191-201, maio 2017.
- BECK, B.; CHONG, D., OLIVIER, J., PERKINS, M., TSAY, A., RUSHFORD, A., LI, L., CAMERON, P., FRY, R., JOHNSON, M. How Much Space Do Drivers Provide When Passing Cyclists? Understanding the Impact of Motor Vehicle and Infrastructure Characteristics on Passing Distance. **Accident Analysis & Prevention**, v. 128, p. pp 253-260, jul. 2019.
- BOUFOUS, S., DE ROME, L., SENSERRICK, T., IVERS, R. Risk factors for severe injury in cyclists involved in traffic crashes in Victoria, Australia. **Accident Analysis and Prevention**, v. 49, p. 404–409, 2012.
- BRASIL. Caderno Técnico Para Projetos De Mobilidade Urbana – Transporte Ativo. Ministério das Cidades, Brasília. 2017.
- BRAUN, L. M., RODRIGUEZ, D. A., COLE-HUNTER, T., AMBROS, A., DONAIRE-GONZALEZ, D., JERRETT, M., MENDEZ, M. A., NIEUWENHUIJSEN, M. J. DE NAZELLE, A. Short-term planning and policy interventions to promote cycling in urban centers: Findings from a commute mode choice analysis in Barcelona, Spain. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 89, p. 164–183, 2016.
- Carvalho, C. H. R. Desafios da mobilidade urbana no Brasil. **Texto para Discussão**, n. 2198. Brasília: Ipea. 2011.
- CELIS-MORALES, C. A., LYALL, D. M., WELSH, P., ANDERSON, J., STEELI, L., GUO, Y., MALDONADO, R., MACKAY, D. F., PELL, J. P., SATTAR, N., GILL, J. M.R. Association between active commuting and incident cardiovascular disease, cancer, and mortality: prospective cohort study. **BMJ (Clinical research ed.)**, v. 357, p. j1456, 2017.
- CHAPMAN, J.; NOYCE, D. Observations of driver behavior during overtaking of bicycles on rural roads. **Transportation Research Record**, n. 2321, p. 38–45, 2012.
- CHAPMAN, J. R.; NOYCE, D. A. Influence of roadway geometric elements on driver behavior when overtaking bicycles on rural roads. **Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)**, v. 1, n. 1, p. 28–38, 2014.

- CHATAWAY, E. S., KAPLAN, S., NIELSEN, T. A. S., PRATO, C. G. Safety perceptions and reported behavior related to cycling in mixed traffic: A comparison between Brisbane and Copenhagen. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 23, p. 32–43, 2014.
- CHAURAND, N.; DELHOMME, P. Cyclists and drivers in road interactions: A comparison of perceived crash risk. **Accident Analysis and Prevention**, v. 50, p. 1176–1184, 2013.
- CHUANG, K.-H., HSU, C. C., LAI, C. H., DOONG, J. L., JENG, M.C. The use of a quasi-naturalistic riding method to investigate bicyclists' behaviors when motorists pass. **Accident Analysis and Prevention**, v. 56, p. 32–41, 2013.
- DAMANT-SIROIS, G.; EL-GENEIDY, A. M. Who cycles more? Determining cycling frequency through a segmentation approach in Montreal, Canada. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 77, p. 113–125, 2015.
- DANIELS, S.; NUYTS, E.; WETS, G. The effects of roundabouts on traffic safety for bicyclists: An observational study. **Accident Analysis and Prevention**, v. 40, n. 2, p. 518–526, 2008.
- DEBNATH, A. K., HAWORTH, N., SCHRAMM, A., HEESCH, K. C., SOMORAY, K. Factors influencing noncompliance with bicycle passing distance laws. **Accident Analysis and Prevention**, v. 115, n. August 2017, p. 137–142, 2018.
- DENNIS, J., RAMSAY, T., TURGEON, A. F., ZARYCHANSKI, R. Helmet legislation and admissions to hospital for cycling related head injuries in Canadian provinces and territories: Interrupted time series analysis. **BMJ (Online)**, v. 346, n. 7912, p. 1–10, 2013.
- DOZZA, M., SCHINDLER, R., BIANCHI-PICCININI, G., KARLSSON, J. How do drivers overtake cyclists? **Accident Analysis & Prevention**, v. 88, p. 29–36, 2016.
- ELVIK, R.; MYSEN, A. B. Meta-Analysis of Studies Made in 13 Countries. **Transport Research Record**, v. 1665, n. 99, p. 133–140, 1999.
- FENG, F., BAO, S., HAMPSHIRE, R. C., DELP, M. Drivers overtaking bicyclists—An examination using naturalistic driving data. **Accident Analysis & Prevention**, v. 115, p. 98–109, jun. 2018.
- FRUHEN, L. S.; FLIN, R. Car driver attitudes, perceptions of social norms and aggressive driving behaviour towards cyclists. **Accident Analysis and Prevention**, v. 83, p. 162–170, 2015.
- DE GEUS, B., VANDENBULCKE, G., INT PANIS, L., THOMAS, I., DEGRAEUWE, B., CUMPS, E., AERTSENS, J., TORFS, R., MEEUSEN, R. A prospective cohort study on minor accidents involving commuter cyclists in Belgium. **Accident Analysis and Prevention**, v. 45, p. 683–693, 2012.
- HEESCH, K. C.; SAHLQVIST, S.; GARRARD, J. Cyclists' experiences of harassment from motorists: Findings from a survey of cyclists in Queensland, Australia. **Preventive Medicine**, v. 53, n. 6, p. 417–420, 2011.
- HULL, A.; O'HOLLERAN, C. Bicycle infrastructure: can good design encourage cycling? **Urban, Planning and Transport Research**, v. 2, n. 1, p. 369–406, 2014.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Infraestrutura Social e Urbana no Brasil: subsídios para uma agenda de pesquisa e formulação de políticas públicas.** Vol. 2, 2010

JUHRA, C., WIESKÖTTER, B., CHU, K., TROST, L., WEISS, U., MESSERSCHMIDT, M., MALCZYK, A., HECKWOLF, M., RASCHKE, M. Bicycle accidents - Do we only see the tip of the iceberg?: A prospective multi-centre study in a large German city combining medical and police data. **Injury**, v. 43, n. 12, p. 2026–2034, 2012.

KAY, J. J., SAVOLAINEN, P. T., GATES, T. J., DATTA, T. K. Driver behavior during bicycle passing maneuvers in response to a Share the Road sign treatment. **Accident Analysis & Prevention**, v. 70, p. 92–99, set. 2014.

KOVACEVA, J., NERO, G., BÄRGMAN, J., DOZZA, M. Drivers overtaking cyclists in the real-world: Evidence from a naturalistic driving study. **Safety Science**, v. 119, p. 199–206, 1 nov. 2019.

LLORCA, C., ANGEL-DOMENECH, A., AGUSTIN-GOMEZ, F., GARCIA, A. Motor vehicles overtaking cyclists on two-lane rural roads: Analysis on speed and lateral clearance. **Safety Science**, v. 92, p. 302–310, fev. 2017.

LOVE, D. C., BREAUD, A., BURNS, S., MARGULIES, J., ROMANO, M., LAWRENCE, R. Is the three-foot bicycle passing law working in Baltimore, Maryland? **Accident Analysis and Prevention**, v. 48, p. 451–456, 2012.

MARTÍNEZ-RUIZ, V., LARDELLI-CLARET, Pablo., JIMÉNEZ-MEJÍAS, E., AMEZCUA-PRIETO, C., JIMÉNEZ-MOLEÓN, J. J., LUNA DEL CASTILLO, J. D. Risk factors for causing road crashes involving cyclists: An application of a quasi-induced exposure method. **Accident Analysis and Prevention**, v. 51, p. 228–237, 2013.

MECHERI, S.; ROSEY, F.; LOBJOIS, R. Manipulating constraints on driver-cyclist interactions in a fixed travel space: Effects of road configuration on drivers' overtaking behavior. **Safety Science**, v. 123, n. December 2019, p. 14–20, 2020.

MEHTA, K.; MEHRAN, B.; HELLINGA, B. Evaluation of the Passing Behavior of Motorized Vehicles When Overtaking Bicycles on Urban Arterial Roadways. **Transportation Research Record**, v. 2520, n. 1, p. 8–17, 1 jan. 2015.

MØLLER, M.; HELS, T. Cyclists' perception of risk in roundabouts. **Accident Analysis and Prevention**, v. 40, n. 3, p. 1055–1062, 2008.

MUELLER, N., ROJAS-RUEDA, D., COLE-HUNTER, T., DE NAZELLE, A., DONS, E., GERIKE, R., GÖTSCHI, T., INT PANIS, L., KAHLMEIER, S., NIEUWENHUIJSEN, M. Health impact assessment of active transportation: A systematic review. **Preventive Medicine**, v. 76, p. 103–114, 2015.

ORSI, C., FERRARO, O. E., MONTOMOLI, C., OTTE, D., MORANDI, A. Alcohol consumption, helmet use and head trauma in cycling collisions in Germany. **Accident Analysis and Prevention**, v. 65, p. 97–104, 2014.

PARKIN, J.; MEYERS, C. The effect of cycle lanes on the proximity between motor traffic and cycle traffic. **Accident Analysis and Prevention**, v. 42, n. 1, p. 159–165,

2010.

PARKIN, J.; WARDMAN, M.; PAGE, M. Models of perceived cycling risk and route acceptability. **Accident Analysis and Prevention**, v. 39, n. 2, p. 364–371, 2007.

POULOS, R. G., HATFIELD, J., RISSEL, C., FLACK, L. K., SHAW, L., GRZEBIETA, R., MCINTOSH, A. S. Near miss experiences of transport and recreational cyclists in New South Wales, Australia. Findings from a prospective cohort study. **Accident Analysis and Prevention**, v. 101, p. 143–153, 2017.

SANDERS, R. L. Perceived traffic risk for cyclists: The impact of near miss and collision experiences. **Accident Analysis and Prevention**, v. 75, p. 26–34, 2015.

SHACKEL, S. C.; PARKIN, J. Influence of road markings, lane widths and driver behaviour on proximity and speed of vehicles overtaking cyclists. **Accident Analysis & Prevention**, v. 73, p. pp 100-108, dez. 2014.

SHORT, J.; CAULFIELD, B. The safety challenge of increased cycling. **Transport Policy**, v. 33, p. 154–165, 2014.

STEWART, K.; MCHALE, A. Cycle lanes: their effect on driver passing distances in urban areas. **Transport**, v. 29, n. 3, p. pp 307-316, jul. 2014.

TESCHKE, K., HARRIS, M. A., REYNOLDS, C. C.O., WINTERS, M., BABUL, S., CHIPMAN, M., CUSIMANO, M. D., BRUBACHER, J. R., HUNTE, G., FRIEDMAN, S. M., MONRO, M., SHEN, H., VERNICH, L., CRIPTON, P. A. Route infrastructure and the risk of injuries to bicyclists: A case-crossover study. **American Journal of Public Health**, v. 102, n. 12, p. 2336–2343, 2012.

TWISK, D. A. M.; REURINGS, M. An epidemiological study of the risk of cycling in the dark: The role of visual perception, conspicuity and alcohol use. **Accident Analysis and Prevention**, v. 60, p. 134–140, 2013.

WALKER, I. Drivers overtaking bicyclists: Objective data on the effects of riding position, helmet use, vehicle type and apparent gender. **Accident Analysis and Prevention**, v. 39, n. 2, p. 417–425, 2007.

WALKER, I.; GARRARD, I.; JOWITT, F. The influence of a bicycle commuter's appearance on drivers' overtaking proximities: An on-road test of bicyclist stereotypes, high-visibility clothing and safety aids in the United Kingdom. **Accident Analysis & Prevention**, v. 64, p. 69–77, mar. 2014.

WANG, X., WANG, J., ZHANG, J., BAN, X. Driver's Behavior and Decision-Making Optimization Model in Mixed Traffic Environment. **Advances in Mechanical Engineering**, v. 7, n. 2, p. 759571, 15 dez. 2014.

ZEUWTS, L. H. R. H., VANSTEENKISTE, P., DECONINCK, F. J.A., CARDON, G., LENOIR, M. Hazard perception in young cyclists and adult cyclists. **Accident Analysis and Prevention**, v. 105, p. 64–71, 2017.