

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

ENGENHARIA DE TRANSPORTES

Stanley Christian Magalhães

**IMPACTO DAS ONDULAÇÕES TRANSVERSAIS NA SEGURANÇA DO
TRÂNSITO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Belo Horizonte – MG

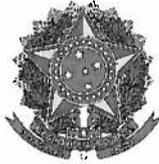
2022

STANLEY CHRISTIAN MAGALHÃES

**IMPACTO DOS DISPOSITIVOS DE REDUÇÃO DE VELOCIDADE PARA
SEGURANÇA DO TRÂNSITO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 1, do curso de Graduação em Engenharia de Transportes do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Professor Agmar Bento Teodoro



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

ANEXO IV - ATA DE DEFESA

**IMPACTO DAS ONDULAÇÕES TRANSVERSAIS NA SEGURANÇA DO
TRÂNSITO**

Stanley Christian Magalhães

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

Belo Horizonte, 30 de novembro de 2023

ORIENTADOR

Prof. Me. / Dr. Agmar Bento Teodoro

Prof. Dra. Helena d'Agosto Miguel Fonseca

Prof. Me Chan Kou Wha

MAGALHÃES, Stanley Christian. **IMPACTO DOS DISPOSITIVOS DE REDUÇÃO DE VELOCIDADE PARA SEGURANÇA DO TRÂNSITO**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia de Transportes. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2022.

RESUMO

Com o aumento da urbanização e a quantidade de veículos nas ruas, sem o devido controle da quantidade de viagens e espaços a serem utilizados, o país tem sofrido com altos índices de congestionamento e sinistros de trânsito. Um dos fatores mais prejudiciais para o aumento da ocorrência de sinistros e da severidade destes é o excesso de velocidade, que vem trazendo prejuízos imensuráveis para a sociedade. Neste contexto, o fator humano corresponde a maior parcela de culpa nos sinistros de trânsito. Motoristas buscam minimizar o tempo de viagem, desenvolvendo altas velocidades em áreas urbanas, induzindo o órgão gestor de trânsito a implementar medidas de controle e fiscalização. O presente trabalho busca compreender o efeito da presença de ondulações transversais no comportamento do motorista e na segurança viária. E por fim, sugerir que as ondulações transversais trabalhem em conjunto com medidas moderadoras de tráfego no controle da redução de velocidade, de forma a buscar um ambiente mais seguro para os usuários da via, sejam eles pedestres, ciclistas ou motoristas.

Palavras-chave: Ondulação Transversal; Segurança Viária, Moderação de Tráfego.

MAGALHÃES, Stanley Christian. **IMPACTO DOS DISPOSITIVOS DE REDUÇÃO DE VELOCIDADE PARA SEGURANÇA DO TRÂNSITO**. f. Undergraduate Final Report. Transportation Engineering. Federal Center for Technological Education of Minas Gerais (CEFET-MG), 2022.

ABSTRACT

With the increase in urbanization and the number of vehicles on the streets, without proper control of the amount of trips and spaces to be used, the country has suffered from high rates of congestion and traffic accidents. One of the most harmful factors for the increase in the occurrence of accidents and their severity is excessive speed, which has brought immeasurable damage to society. In this context, the human factor corresponds to the largest share of fault in traffic accidents. Drivers seek to minimize travel time, increasing high speeds in urban areas, inducing the traffic management body to implement control and inspection measures. The present work seeks to understand the effect of the presence of transverse undulations on driver behavior and road safety. And finally, we suggest that transversal undulations work together with moderate traffic measures to control speed reduction, in order to seek a safer environment for road users, whether pedestrians, cyclists or drivers.

Keywords: Speed Bump, Road Safety, Traffic Calming.

LISTA DE SIGLAS

OT: Ondulação Transversal.

PMMG: Polícia Militar de Minas Gerais.

ONU: Organização das Nações Unidas.

IPEA: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

CNT: Confederação Nacional do Transporte.

CONTRAN: Conselho Nacional de Trânsito.

DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

CTB: Código Brasileiro de Trânsito.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Probabilidade de morte em relação a velocidade e tipo de acidente.	7
Figura 2: Vítimas para cada 100 veículos envolvidos em acidentes em função da velocidade.	8
Figura 3: Exemplo de Ondulação Transversal.	15
Figura 4: Linha de estímulo a redução de velocidade.	16
Figura 5: Exemplo e sonorizador.	17
Figura 6: Sequência de etapas do método proposto.	23
Figura 7: Localização do dispositivo.	29
Figura 8: Valores críticos de Grubbs.	31
Figura 9: Locais de implantação das OT's.	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de Ondulações Transversais	10
Quadro 2: Dispositivos moderadores de tráfego (continua).	18
Quadro 3: Dispositivos moderadores de tráfego (continuação).....	19
Quadro 4: Dispositivos moderadores de tráfego (continuação).....	20
Quadro 5: Trabalhos com temática em ondulação transversal publicados entre os anos de 2012 e 2022.	20
Quadro 6: Sinistros na Av. Durval Alves de Faria	37

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Problema	1
1.2.	Justificativa	2
1.3.	Objetivos	3
1.3.1.	Objetivos Específicos	3
2.	REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1.	Introdução	4
2.2.	Conceitos norteadores	4
2.2.1.	Velocidade Veicular	4
2.2.2.	Comportamento humano no trânsito:	5
2.2.3.	Influência da Velocidade Veicular nos Sinistros de Trânsito	6
2.3.	Regulamentação para o controle de velocidade veicular	8
2.3.1.	Legislação e Código de Trânsito Brasileiro	8
2.3.2.	Regulamentação da Ondulação Transversal	10
2.3.3.	Regulamentação dos Dispositivos de Controle Eletrônico	12
2.4.	Dispositivos de controle de velocidade veicular	13
2.4.1.	Dispositivos Físicos	14
2.4.2.	Dispositivos Eletrônicos	17
2.5.	Moderação de tráfego (Traffic Calming)	18
2.6.	Trabalhos Relacionados	20
2.7.	Considerações sobre o capítulo	22
3.	MÉTODOS	23
3.1.	Sistematização da metodologia	23
3.2.	Inventário de estudo	24
3.2.1.	Definição do local de estudo	24
3.2.2.	Levantamento das características físicas e operacionais da via	24

3.3.	Coleta de dados	25
3.3.1.	Coleta das velocidades veiculares.....	25
3.3.2.	Análise da ocorrência de sinistros de trânsito	25
3.3.3.	Escolha do local de pesquisa	26
3.4.	Análise dos dados	26
4.	PESQUISA SOBRE O IMPACTO DA IMPLANTAÇÃO DE ONDULAÇÕES TRANSVERSAIS NA VELOCIDADE VEÍCULAR.....	28
4.1.	Área de estudo.....	28
4.2.	Coleta de dados	30
4.3.	207Tratamento dos dados	30
4.4.	Análise dos resultados	33
4.5.	Conclusão	35
5.	Análise dos índices de SINISTROS	35
5.1.	Escolha do local	36
5.2.	Análise dos índices	36
6.	CONCLUSÃO	38
	REFERÊNCIAS.....	40

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo será contextualizado o problema da segurança viária no Brasil e a e quais soluções de redução de velocidade são utilizadas para diminuir a severidade e quantidade de sinistros de trânsito. Serão apresentados, ainda, a justificativa e o objetivo da pesquisa, assim como a estrutura deste documento.

1.1. Problema

O transporte é determinante para produção, distribuição espacial, qualidade de vida e distribuição de renda entre membros de uma sociedade (Kawamoto, 1994). Com o constante avanço tecnológico e populacional, o número de sinistros de trânsito e fatalidades também cresceram, conforme aponta a Confederação Nacional do Transporte (CNT,2018).

Estima-se que, anualmente, morrem cerca de 1,3 milhão de pessoas em todo o mundo vítimas de acidentes de trânsito, além de aproximadamente 50 milhões de feridos ou com alguma seqüela. No Brasil, com o endurecimento das leis e investimentos em infraestrutura, estima-se que foi reduzido o número de fatalidades de 45 mil para 30 mil pessoas ao ano, conforme aponta a Organização das Nações Unidas (ONU, 2021).

O fator humano é o principal causador de acidentes, sendo responsável por cerca de 65% a 95% dos sinistros de trânsito. Entre as causas associadas a este fator está a distração dos motoristas, a imprudência em ultrapassagens, consumo de bebidas alcoólicas e o fator velocidade incompatível (Gao, 2003).

Tendo em vista que os erros humanos são inevitáveis, e buscando a redução do quadro de fatalidades por acidentes de trânsito no mundo, a Organização das Nações Unidas ONU (2021) lançou a campanha Década de Ação pela Segurança no Trânsito, que aplicou estratégias para diminuir a severidade dos acidentes através de um rearranjo do sistema viário.

Com base nesse contexto, dispositivos de controle da velocidade e gerenciamento do tráfego passaram a serem muito utilizados como forma de redução dos índices e severidades dos acidentes.

1.2. Justificativa

Acidentes de trânsito possuem custos econômicos e sociais extremamente pesados para um país. De acordo com o IPEA (2020), o custo total dos acidentes referentes ao ano de 2012 no Brasil chegaram a 52,15 bilhões de reais, cerca de 1,21% do PIB brasileiro. Mais impactante que o custo econômico é o custo social, onde pessoas sofrem dores físicas e psíquicas por serem parentes ou vítimas de acidentes de trânsito.

De acordo com a Confederação Nacional do Transporte CNT (2015), os países em desenvolvimento como o Brasil representam cerca de 90% da mortalidade no mundo, embora possuam apenas 54% da frota.

Pensando nisso, o Brasil estabeleceu o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito, Lei nº. 13.614/2018, que determina ações para redução em 50% da taxa de mortes a cada 100 mil habitantes até o fim de 2028. Dentre os pilares para promoção da segurança viária descritas no plano podemos citar a Segurança dos Usuários e a Infraestrutura Viária, com a regulamentação de novos elementos redutores de velocidade como platôs, chicanas, almofadas e redução da largura da faixa de rolamento (BRASIL, 2018).

Conforme aponta a CNT (2018), melhorias na infraestrutura viária podem reduzir significativamente a ocorrência e severidade dos sinistros de trânsito, pois limitam as consequências do mau comportamento dos motoristas. Como por exemplo a redução de velocidade através da implantação de obstáculos físicos como as lombadas.

Com intuito de aumentar a segurança viária no meio urbano, o CONTRAN, por meio da resolução 600 de 24 de maio de 2016, estabeleceu os padrões e critérios para instalação de ondulações transversais em vias públicas que visam reduzir a velocidade dos veículos de forma imperativa. Hoje podemos encontrar estes dispositivos em grande parte da malha viária urbana brasileira, devido a necessidade constante em reduzir a velocidade dos veículos, que pode ser atribuída a falta de cultura de segurança no trânsito ou até mesmo ao mal planejamento e conservação do sistema viário do país (Ferraz et al, 2012).

Tornou-se muito comum encontrar ondulações transversais em vias urbanas brasileiras. Está se tornando um fator cultural o uso desses dispositivos como forma de redução imperativa da velocidade. O inconveniente causado pela instalação das lombadas é que todos os usuários da via são afetados por ela, mesmo os que estão respeitando as regras do trânsito no local (Comissão de Ética Pública CEP, 2021).

De acordo com o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), a instalação de ondulações físicas transversais em vias públicas só deve ser considerada após tentar outras alternativas de engenharia de tráfego para redução de velocidade, devido ao fato de ser uma medida extrema. Contudo, alguns municípios estão utilizando destes dispositivos como forma de tentar resolver todos os problemas referentes à segurança viária, ou até mesmo como forma de propaganda política.

Dito isso, a análise proposta consiste em avaliar e identificar corretamente como e onde estes dispositivos são importantes para segurança viária, e medidas alternativas que devem ser adotadas em casos onde a utilização destes se faz desnecessária ou é considerada inviável. Os resultados obtidos podem contribuir para melhor utilização dos recursos públicos, bem como colaborar com a melhoria da segurança do sistema viário brasileiro.

1.3. Objetivos

Objetivo Geral

Analisar o impacto da ondulação transversal na segurança viária e mobilidade urbana.

1.3.1. Objetivos Específicos

- Analisar a redução de velocidade pontual na via antes e após a instalação do dispositivo.
- Analisar a redução média de velocidade da ondulação transversal trabalhando em conjunto com outros dispositivos em um contexto de moderação de tráfego;
- Identificar pontos críticos em relação à segurança viária nos trechos analisados;
- Analisar o índice de sinistros de trânsito antes e após a instalação do dispositivo;
- Verificar a percepção do usuário após a instalação do dispositivo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Introdução

Este capítulo tem por objetivo apresentar uma revisão bibliográfica geral sobre as ondulações transversais e seu papel no controle de velocidade urbana e segurança viária.

Inicialmente serão abordados os principais conceitos encontrados na literatura acerca de velocidade veicular e o seu paralelo com os acidentes de trânsito. Logo após, serão apresentados temas referentes à regulamentação, normas e leis acerca do controle de velocidade veicular, focando nos dispositivos físicos.

Por fim, foi realizada uma abordagem dos diferentes dispositivos regulamentados e utilizados para realizar o controle de velocidade, destacando seus conceitos e objetivos. O foco desse tema será nas ondulações transversais, que são objeto de estudo deste trabalho.

2.2. Conceitos norteadores

Nesta seção serão apresentados conceitos que irão fundamentar a necessidade do estudo da redução e controle de velocidade em via pública. Trata-se de uma revisão da definição de velocidade veicular e como ela afeta o trânsito e seus componentes.

2.2.1. Velocidade Veicular

A velocidade veicular é um parâmetro básico utilizado para a caracterização e análises dos fluxos de tráfego, devido às suas variações ao longo do trecho viário. A medida é definida pela relação entre o espaço percorrido por um determinado veículo e o tempo gasto para percorrê-lo (DNIT, 2006).

Os dados da velocidade veicular são analisados para se obter o comportamento dos veículos em determinado trecho. Existem diversas formas com que podemos representar a velocidade veicular, como por exemplo:

Velocidade média no tempo - Consiste na média de todas as velocidades pontuais em um determinado trecho da via em estudo (DNIT,2006). Portanto, consiste no valor médio da velocidade veicular em determinada seção da via.

Velocidade média veicular no espaço - Consiste na velocidade média de um veículo calculado em razão do comprimento do trecho pelo tempo médio gasto para percorrer o referido trecho.

Velocidade 85º percentil - Representa um valor de velocidade que está dentro do intervalo de menor risco de acidente. Portanto, na maioria das vezes a velocidade no 85º percentil está associada com um intervalo de tolerância em relação ao limite de velocidade.

Os dados obtidos na coleta da velocidade veicular são de grande importância para análises de engenharia de tráfego, e através deles é possível prever possíveis soluções, como, quais dispositivos de redução instalar.

2.2.2. Comportamento humano no trânsito:

Conforme descreve (Monteiro, 2004), em estudos onde deseja-se prever o comportamento dos motoristas em relação a escolha de suas velocidades, alguns fatores de influência determinam esses valores, dentre eles podemos destacar.

a) Condutor

O condutor tende a aumentar a velocidade de acordo com o tamanho de seu percurso, e se está sozinho no veículo.

Ferraz et al. (2012) descreve como fatores de risco associados ao ser humano: emprego de velocidade incompatível, ingestão de bebida alcoólica, drogas e medicamentos, sonolência, desvio de atenção e falta de habilidade.

b) Veículo

A relação peso e potência, onde quanto maior for a potência em relação ao peso, maior a velocidade veicular.

Outros fatores que contribuem para uma redução na velocidade veicular é a idade do veículo e se é um veículo comercial;

c) Via

Diversos fatores da via podem influenciar a velocidade, podemos citar como fatores que aumentam a velocidade, a pavimentação; a baixa frequência de interseções; a baixa incidência de curvas; distância de visibilidade; número de faixas e acostamento.

d) Tráfego

O volume de tráfego e a densidade afetam de maneira inversa a velocidade veicular. A presença de tráfego oposto e de dispositivos de controle de tráfego são fatores que reduzem a velocidade.

e) Controle e fiscalização

Quanto maior for a fiscalização por parte dos agentes reguladores, menor é a velocidade veicular. O mesmo ocorre para a quantidade de dispositivos de controle.

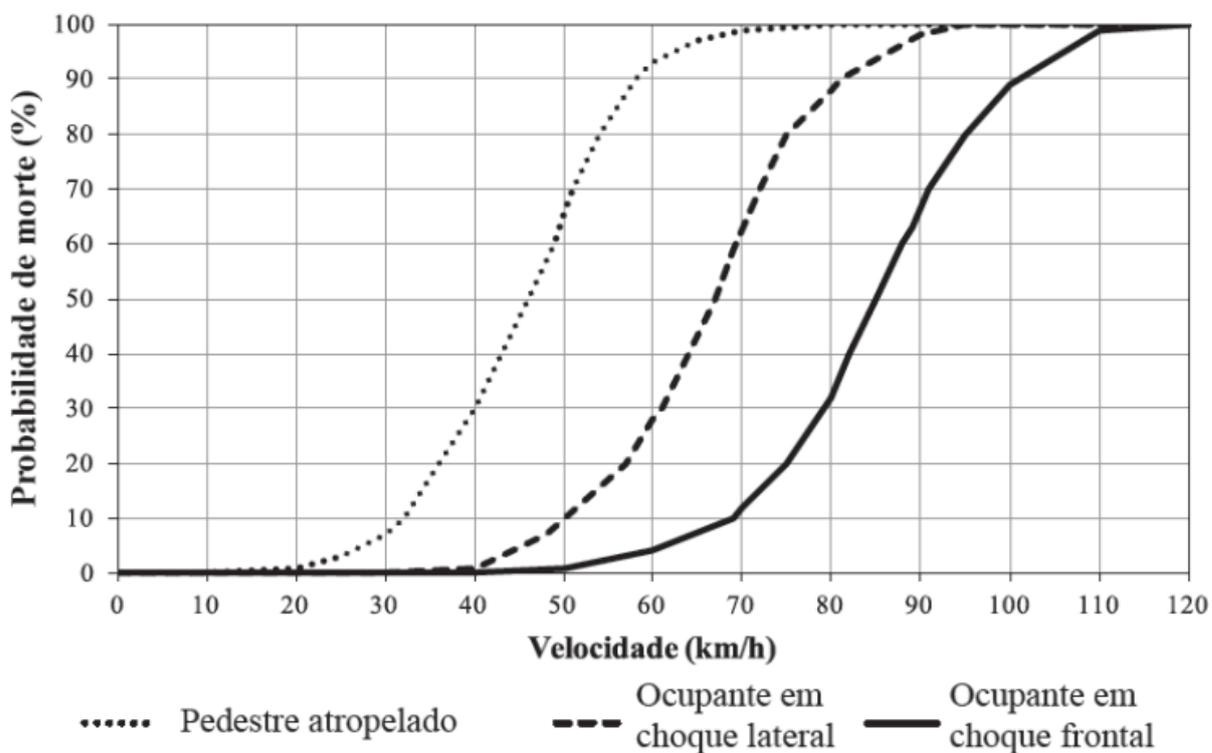
2.2.3. Influência da Velocidade Veicular nos Sinistros de Trânsito

Um dos principais fatores humanos contribuintes para a ocorrência de acidentes é o excesso de velocidade, que influencia diretamente a frequência e a severidade dos acidentes (DFT,2000). O excesso de velocidade veicular nas vias afeta principalmente pedestres e ciclistas, por estarem mais expostos e, portanto, serem mais frágeis do que os demais componentes do sistema viário urbano.

O excesso de velocidade afeta diretamente a severidade dos acidentes, principalmente quando a vítima é o pedestre. O atropelamento a 40 km/h gera um risco de 30% de morte ao pedestre, contudo esse número vai para 85% quando a velocidade de atropelamento for de 60km/h (Daros, 2000).

Conforme aponta Ferraz et al. (2012), o excesso de velocidade é o principal fator de risco associado ao sinistro de trânsito com vítimas graves e fatais. A figura abaixo representa o risco de morte em função da velocidade, para pedestres, ciclistas, motociclistas e para ocupante de um veículo ao sofrer colisão lateral e frontal.

Figura 1: Probabilidade de morte em relação a velocidade e tipo de acidente.



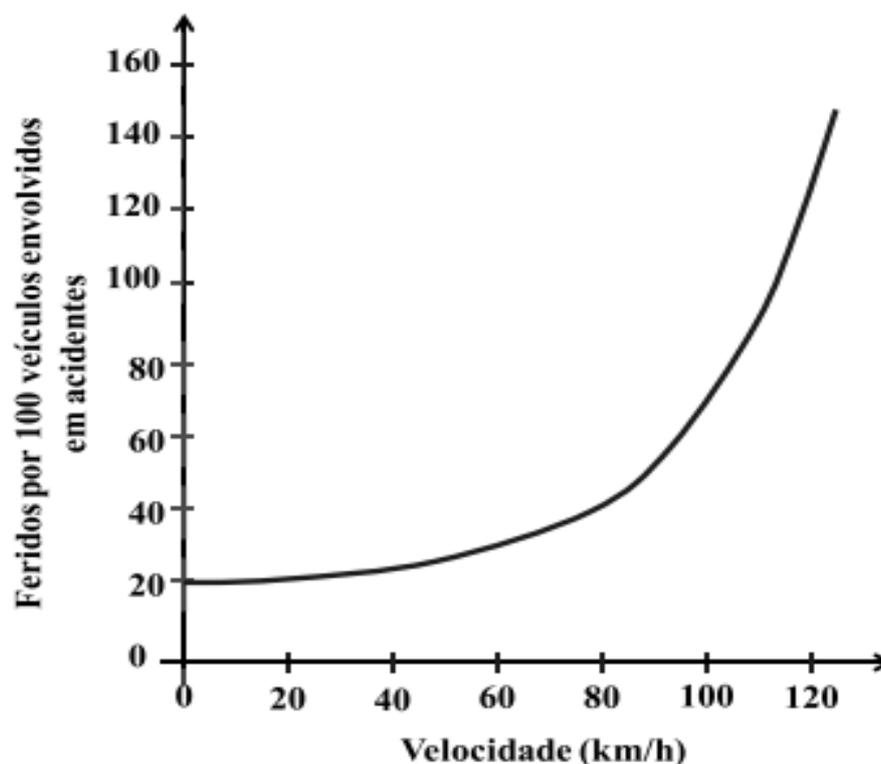
Fonte: FERRAZ et al., (2012)

Conforme explicitado na Figura 1, Ferraz aponta que:

O risco de morte depende do tipo do veículo utilizado e do tipo de colisão, e aumenta consideravelmente de acordo com a velocidade. Para cada 1 km/h de aumento da velocidade, a incidência de acidentes com vítimas cresce 3% e o risco de morte nos acidentes entre 4 e 5%. (Ferraz et al, 2012).

A Figura 2 ilustra a influência da velocidade na severidade dos acidentes, é apresentada uma curva de vítimas para cada 100 veículos envolvidos em acidentes em função da velocidade.

Figura 2: Vítimas para cada 100 veículos envolvidos em acidentes em função da velocidade.



Fonte: FERRAZ et al., (2012)

2.3. Regulamentação para o controle de velocidade veicular

Neste tópico serão apresentadas as leis e normas definidas no ordenamento jurídico brasileiro acerca do controle de velocidade veicular. Assim como a regulamentação de dispositivos que auxiliam nesse contexto de moderação de tráfego.

2.3.1. Legislação e Código de Trânsito Brasileiro

Medidas de moderação de tráfego são um conjunto de técnicas utilizadas para regulamentar o comportamento de motoristas nas vias, e surgem com intuito de reduzir a velocidade média do sistema viário e conseqüentemente torná-lo mais seguro.

As normas surgem como forma de garantir a segurança viária, e as regulamentações tornam-se necessárias, principalmente em locais que possuem alto índice de acidentes. O Artigo 61 do Código de Trânsito Brasileiro regulamenta a velocidade a ser praticada em vias urbanas ou rurais (BRASIL, 1997).

● Art. 61 – A velocidade máxima permitida para a via será indicada por meio de sinalização, obedecidas as suas características técnicas e as condições do trânsito. Onde não existir sinalização de regulamentação, a velocidade máxima será de:

I - nas vias urbanas:

- 80 km/h nas vias de trânsito rápido
- 60 km/h nas vias arteriais
- 40 km/h nas vias coletoras
- 30 km/h nas vias locais.

II - nas vias rurais:

- Em rodovias: 110 km/h para automóveis e caminhões; 90 km/h para ônibus e micro-ônibus; e 80 km/h para os demais veículos;
- Nas estradas é de 60 km/h.

As regulamentações descritas acima estabelecem os valores máximos de velocidades a serem desenvolvidas pelos veículos ao trafegarem em via pública. Com base nesses valores, foram criadas penalidades para os motoristas que desrespeitam as regras previamente estabelecidas. De acordo com o Art. 218 do Código de Trânsito Brasileiro está prevista infração para quem transitar em velocidade superior à máxima permitida para o local em que:

- Quando a velocidade for superior à máxima em 20% aplica-se infração média e multa;
- Quando a velocidade for superior à máxima em mais de 20% e até 50%, aplica-se infração grave e multa;
- Quando a velocidade for superior à máxima permitida em mais de 50%, aplica-se infração gravíssima três vezes o valor da multa e suspensão do direito de dirigir.

O endurecimento das penalidades previstas na legislação, e o maior controle e fiscalização acarretam na redução do número de acidentes de trânsito. A falta de fiscalização e controle ao longo das vias públicas não exime o motorista de seus deveres para com a lei de trânsito, contudo as fiscalizações podem ser preponderante para influenciar o comportamento dos motoristas.

2.3.2. Regulamentação da Ondulação Transversal

A utilização de dispositivos de controle e redução de velocidade possui papel fundamental para melhoria da segurança viária. No Brasil, o Manual de Dispositivos Auxiliares do Contran (2021) estabelece os padrões e critérios para instalação de ondulações transversais em vias públicas. Condicionando a implantação desses dispositivos a autorização expressa pelo órgão gestor de trânsito com circunscrição sobre a via, podendo ser implantada após estudos que indicam a eficiência desses dispositivos na redução de acidentes, ou na ineficiência de outros métodos para este mesmo fim.

A primeira resolução elaborada que determinava critérios para implantação das ondulações transversais foi a nº 39 (CONTRAN, 1998) que estabeleceu dois tipos de ondulações conforme a tabela abaixo.

Quadro 1: Tipos de Ondulações Transversais

TIPO	LARGURA	ALTURA	COMPRIMENTO	REPRESENTAÇÃO
TIPO A	Igual à da pista, mantendo-se as condições de drenagem superficial	$0,08 \leq H \leq 0,10$	3,70m	
TIPO B	Igual à da pista, mantendo-se as condições de drenagem superficial	$0,06m \leq H \leq 0,08m$	1,50m	

Fonte: Manual de Dispositivos Auxiliares – CONTRAN (2021)

A ondulação do tipo B, é destinada a reduzir a velocidade veicular para 20 km/h, em trechos onde não circulam linhas de transporte coletivo. Essa opção é raramente utilizada na prática, limitando-se a locais estreitos onde a velocidade deve ser mínima.

Já a ondulação tipo A, aplica-se em trechos urbanizados de rodovias, via urbana coletora e local onde deseja-se reduzir a velocidade veicular para até 30 km/h.

Em relação aos critérios de implantação da ondulação transversal, o Manual de Dispositivos Auxiliares do Contran (2021) difere em três tópicos da primeira resolução:

i - Não exige mais que o volume de tráfego seja inferior a 600 veículos por hora nos períodos de pico para implantação do dispositivo.

II- Acrescenta a necessidade de ausência de guia de calçada (meio-fio) rebaixada, destinada à entrada ou saída de veículos;

lii- Ausência de rebaixamento de calçada para pedestres;

Sendo os demais critérios de análise os seguintes:

1. em rodovia, declividade inferior a 4% ao longo do trecho;
2. em via urbana e ramos de acesso de rodovias, declividade inferior a 6% ao longo do trecho;
3. Ausência de curva ou interferência que comprometa a visibilidade do dispositivo;
4. Pavimento em bom estado de conservação
5. Acrescenta a necessidade de ausência de guia de calçada (meio-fio) rebaixada, destinada à entrada ou saída de veículos;
6. Ausência de rebaixamento de calçada para pedestres;
7. Índice significativo ou risco potencial de acidentes cujo fator determinante é o excesso de velocidade praticado no local e onde outras alternativas de engenharia de tráfego são ineficazes.

O referido manual ainda abre precedentes para implantação de ondulação transversal em trechos que não se adequem aos critérios 1 e 2, desde que sejam devidamente justificados no estudo técnico de engenharia.

O manual também seguiu uma definição elaborada em 2009 pela resolução nº 336 (CONTRAN, 2009) que proibia a utilização de tachas, tachões e dispositivos similares aplicados transversalmente à via pública como ondulação transversal. Pois essa aplicação poderia causar danos à pavimentação e aos veículos.

2.3.3. Regulamentação dos Dispositivos de Controle Eletrônico

Para dispositivos de controle eletrônico de velocidade, a primeira resolução publicada foi a nº 146 do (CONTRAN, 2003), onde ficou estabelecido os equipamentos que fariam a coleta das velocidades sendo:

- Radar fixo: medidor de velocidade instalado em local definitivo.
- Radar estático: medidor de velocidade instalado em veículo parado, ou em suporte apropriado.
- Radar móvel: medidor de velocidade instalado em veículo em movimento.
- Radar portátil: medidor de velocidade direcionado manualmente para o veículo

Atualmente, a nova resolução nº 798 do (CONTRAN, 2020) define os tipos de equipamentos medidores de velocidades como:

I. fixo: medidor de velocidade com registro de imagem instalado em local definido e em caráter duradouro, podendo ser especificado como:

- a) controlador: medidor de velocidade destinado a fiscalizar o limite máximo de velocidade da via ou de seu ponto específico, sinalizado por meio de placa R-19; ou
- b) redutor: medidor de velocidade, obrigatoriamente dotado de display, destinado a fiscalizar a redução pontual de velocidade estabelecida em relação à velocidade diretriz da via, por meio de sinalização com placa R-19, em trechos críticos e de vulnerabilidade dos usuários da via.

II. portátil: medidor de velocidade com registro de imagem, podendo ser instalado em viatura caracterizada estacionada, em tripé, suporte fixo ou manual, usado ostensivamente como controlador em via ou em seu ponto específico, que apresente limite de velocidade igual ou superior a 60 km/h.

A nova resolução proibiu a instalação de radares móveis em locais escondidos, como dentro de veículos policiais, carros descaracterizados. Ou até mesmo de radares fixos e escondidos atrás de viadutos, pontes, muretas, passarelas, marquises, árvores ou qualquer objeto que possa ocultá-los.

Outro critério adicionado foi a necessidade de um estudo técnico realizado no máximo há 12 meses, que comprove a necessidade de adição de fiscalização eletrônica por parte do órgão de trânsito responsável.

O órgão de trânsito ou concessionária também fica responsável por mapear e divulgar os locais sujeitos à fiscalização móvel, divulgação que antes era feita apenas para dispositivos fixos.

Os dispositivos de fiscalização também passaram a ter novas funções, como registrar latitude e longitude do local de operação, placas de veículos e contagem volumétrica de tráfego.

Todos os equipamentos devem ter o modelo aprovado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), e devem ser verificados periodicamente, com prazo máximo de 12 meses pelo INMETRO ou por entidade por ele delegada.

2.4. Dispositivos de controle de velocidade veicular

Conforme observado anteriormente, uma das principais causas de acidentes de trânsito, e responsável pelo aumento da severidade destes é a alta velocidade veicular (DFT, 2000). Sendo assim, foram definidos alguns dispositivos para uso no controle do excesso de velocidade por parte dos gestores de trânsito competentes.

Portanto, temos a utilização de dispositivos e técnicas para adequar o tráfego de veículos e pedestres de forma a alcançar harmonia e segurança entre as partes. Os equipamentos a seguir agem no controle do excesso de velocidade de forma imperativa ou sugestiva.

2.4.1. Dispositivos Físicos

São equipamentos físicos implantados na superfície do pavimento com objetivo da redução pontual de velocidade veicular. Por possuírem alta efetividade no controle do excesso de velocidade, são comumente utilizados em locais de grande travessia de pedestres, ou em cruzamentos conflituosos. Dentre os dispositivos físicos para controle de velocidade temos:

A. Ondulações Transversais

Dentre os vários dispositivos moderadores de tráfego, que provocam a redução da velocidade veicular através da deflexão vertical, estão as Ondulações Transversais – OT. São medidas de fácil instalação e de baixo custo de implantação, e muito eficientes na redução da velocidade, razões pelas quais têm sido muito utilizadas no Brasil.

Popularmente conhecidas como “quebra molas”, as OTs consistem na elevação da pavimentação com perfil circular, implantada transversalmente na via, com objetivo de reduzir imperativamente a velocidade dos veículos. São implantadas de sarjeta a sarjeta, mantendo-se a capacidade de drenagem pluvial da via. A Figura 3 demonstra um exemplo de ondulação transversal.

Figura 3: Exemplo de Ondulação Transversal.



Fonte: Arquivo pessoal

Conforme destacado anteriormente, existem critérios e padrões definidos para implantação das ondulações transversais, estabelecidos pelo CONTRAN (2021).

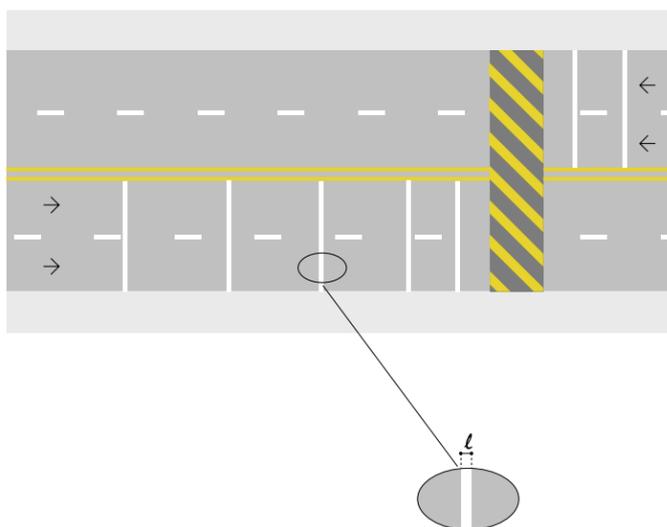
São eficientes na redução de velocidades veiculares para níveis adequados de trechos com alta demanda por travessia de pedestres, principalmente crianças, e por isso são altamente requisitados por parte da população local (Barbosa et al., 2008)

Apesar de muito utilizado no país, o “quebra-molas” não tem sido aplicado de forma conjunta, num contexto de medidas moderadoras de tráfego. É muito comum encontrar diversas ondulações transversais instaladas isoladamente, com o simples objetivo de reduzir a velocidade pontualmente no local, apesar de já estar evidente a necessidade de que medidas para controle de velocidade necessitam seguir um plano de gerenciamento de tráfego, que incorpore medidas de moderação com intuito de tratar o real problema do trânsito e não somente um sintoma (Barbosa e Moura, 2008).

B. Linhas de Estímulo a Redução de Velocidade

As LRV são um conjunto de faixas paralelas pintadas transversalmente sobre o pavimento, que, pelo efeito visual, devido ao seu espaçamento variado e decrescente, transmite ao condutor a sensação de aumento de velocidade devido a aproximação das faixas, induzindo-o a reduzir sua velocidade (CONTRAN, 2007).

Figura 4: Linha de estímulo a redução de velocidade.



Fonte: CONTRAN, 2004

Sendo a largura l das faixas 0,20m para velocidades inferiores a 60 km/h, 0,30m para velocidades entre 60km/h 80km/h, e 0,40m para velocidades superiores a 80 km/h.

C. Sonorizadores

As guias sonoras consistem em saliências ou ranhuras, implantadas transversalmente sobre a superfície do pavimento, de modo que provoque trepidação e ruído na passagem de veículos, com objetivo de alertar o condutor para uma situação atípica à frente (CONTRAN, 2016).

Figura 5: Exemplo e sonorizador.



Fonte: (Prefeitura Municipal de Ituverava)

Conforme expresso na resolução 601 de 24 de maio de 2016 do CONTRAN, é proibido a implantação destes dispositivos em local com edificação lindeira, trecho em curva horizontal e ponto de interseção vertical. Portanto, são usualmente aplicados em rodovias.

2.4.2. Dispositivos Eletrônicos

Devido a um grande número de acidentes em via pública ocasionados pela falta de manutenção ou erro de implantação das ondulações transversais, em 1992 foram introduzidos no Brasil os dispositivos eletrônicos de controle de velocidade veicular (Stumpf, 1998).

Os radares e lombadas eletrônicas são dispositivos mais adequados para uso em rodovias e vias de trânsito rápido urbanas, devido ao fato de não trazerem riscos à integridade física do motorista em caso de descumprimento da velocidade máxima regulamentada. O dispositivo capta imagens das placas dos veículos para a emissão do auto de infração caso o veículo exceda a velocidade máxima permitida da via, com uma tolerância de 7 km/h considerando a margem de erro dos velocímetros.

Hoje em dia, os radares também auxiliam no monitoramento em tempo real do trânsito, contagem volumétrica de veículos e podem detectar veículos roubados através da leitura e processamento das placas (Guimarães et al., 2021).

2.5. Moderação de tráfego (Traffic Calming)

A moderação de tráfego consiste em um conjunto de técnicas utilizadas no sistema viário, com objetivo de aumentar a segurança das viagens não motorizadas de forma a estimular as mesmas (Neto, 2012). O conceito parte da premissa de reduzir o número de veículos nas vias, desestimulando o uso desses por meio da redução de velocidade e implantação de obstáculos. Portanto, a moderação de tráfego objetiva mudar o comportamento dos motoristas, de forma a induzi-lo a respeitar áreas de trânsito de pedestres.

Ainda segundo Neto (2012), a Alemanha foi o país onde se criou o maior número de áreas centrais de pedestres, sendo o berço conceito de moderação de tráfego, trazidos pelo aumento do volume de pedestres, o desenvolvimento urbano e o aumento da consciência ambiental.

A tabela a seguir demonstra os principais dispositivos aplicados no controle de velocidade de acordo com o manual de medidas moderadoras de tráfego:

Quadro 2: Dispositivos moderadores de tráfego (continua).

Dispositivo	Ilustração	Resumo
Lombada		Obstáculos físicos construídos de material asfáltico com formato circular. Possuem entre 5 e 10 cm de altura e a largura da pista, subtraindo-se a sarjeta, de comprimento.

Quadro 3: Dispositivos moderadores de tráfego (continuação)

Dispositivo	Ilustração	Resumo
Platô		<p>Elevação do pavimento a nível do passeio, de meio-fio a meio-fio, que pode ser utilizado como travessia para pedestres.</p>
Chicana		<p>Estreitamento proposital da pista, provocando sinuosidade ao tráfego. Reduz a velocidade provocando quebra na linearidade da pista.</p>
Estreitamento		<p>Acréscimo de obstáculos físicos, reduzindo a pista de rolamento. Impede a ultrapassagem de motoristas, e reduz a distância de caminhada de pedestres.</p>
Almofadas		<p>Dispositivo semelhante às lombadas, mas que não prejudica a passagem de veículos de transporte coletivo e de emergência. Além de facilitar a passagem de motociclistas e ciclistas.</p>

Quadro 4: Dispositivos moderadores de tráfego (continuação)

Dispositivo	Ilustração	Resumo
Canteiro central		<p>Ilhamentos no centro da pista que segregam o tráfego oposto e servem como refúgio para travessia de pedestres. Podem ser arborizados e controlam a velocidade da pista através da redução da pista de rolamento.</p>
Sonorizadores		<p>saliências ou ranhuras, implantadas transversalmente sobre a superfície do pavimento, de modo que provoque trepidação e ruído na passagem de veículos, com objetivo de alertar o condutor para uma situação atípica à frente</p>

Fonte: Manual de Medidas Moderadoras de Tráfego- BHTRANS

2.6. Trabalhos Relacionados

Para ter compreensão da linha de pesquisa que vem sendo desenvolvida nos últimos anos acerca do tema proposto, foram selecionados artigos com ajuda do mecanismo de pesquisa Google Acadêmico, onde a palavra chave utilizada foi ondulação transversal. O quadro abaixo apresenta os trabalhos encontrados acerca do tema.

Quadro 5: Trabalhos com temática em ondulação transversal publicados entre os anos de 2012 e 2022.

Autor	Título	Ano	Resumo
DE SOUSA, J. C. C. AMERICO, A. X. DOS SANTOS, A. C. A. DA ROSA, C. C. DOS SANTOS, M. B.	Análise das ondulações transversais do município de Santa Luzia do Pará	2022	Analisa se as ondulações transversais do município de Santa Luzia - Pará obedecem aos padrões estabelecidos pelo CONTRAN quanto às dimensões de altura e comprimento, sinalização e conservação.

<p>CORREA, P. E. BALTAR, M. L. B.</p> <p>BENDER, J.</p> <p>TEIXEIRA, R. F. S.</p>	<p>Impacto das ondulações transversais na qualidade do transporte público coletivo na cidade de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.</p>	<p>2021</p>	<p>Analisa fatores que afetam a qualidade do transporte público a partir da implantação de ondulações transversais em via pública de forma irregular. Foi medido o impacto das lombadas no tempo de viagem do ônibus, bem como o nível de serviço e satisfação dos usuários.</p>
<p>CARVALHO, L. F. A.</p> <p>ALVES, K.</p> <p>CARRIJO, S. A.</p>	<p>A UTILIZAÇÃO DE TACHÃO COMO REDUTOR DE VELOCIDADE NO MUNICÍPIO DE MINEIROS - GO</p>	<p>2019</p>	<p>O trabalho busca evidenciar o uso de tachões como redutores físicos de velocidade no município de Mineiros-GO, demonstrando através de método de pesquisa exploratória. Faz uma análise das atuais práticas de controle de velocidade, provando a ineficácia dos métodos utilizados.</p>
<p>DOS SANTOS, J. A.</p>	<p>CONSTRUÇÃO DE LOMBADAS EM VIAS URBANAS: UM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE PATROCÍNIO – MG.</p>	<p>2018</p>	<p>O estudo analisa se as ondulações transversais da Cidade de Patrocínio - MG obedecem aos padrões estabelecidos para implantação pelo CONTRAN, a partir da coleta das dimensões dos dispositivos no inventário viário.</p>
<p>SCHUMACHER, F. I.</p>	<p>Análise custo-benefício de ondulações transversais e redutores eletrônicos de velocidade no Brasil</p>	<p>2015</p>	<p>O estudo realiza uma avaliação econômica das intervenções na segurança viária a partir das ondulações transversais e radares eletrônicos de velocidade no Brasil. Desenvolve um método para avaliar o custo-benefício destas medidas de segurança viária para um conjunto de condições de tráfego definidas.</p>
<p>D'AVILA, R. F.</p> <p>MELO, C. P.</p> <p>BARBOSA, H. M.</p>	<p>CALIBRAÇÃO DO MODELO PARA ESTIMATIVA DE VELOCIDADE EM ONDULAÇÕES TRANSVERSAIS EM VIAS URBANAS</p>	<p>2012</p>	<p>Foi calibrado um modelo para estimativa de redução de velocidades nas ondulações transversais, a partir da coleta de dados do inventário viário estabelecido.</p>

Fonte: Elaborado pelo Autor

2.7. Considerações sobre o capítulo

O capítulo 2 abordou temas acerca dos problemas causados pelo excesso de velocidade veicular e do controle dela em áreas urbanas. A revisão buscou contextualizar o leitor sobre a necessidade do estudo da velocidade veicular, e como ela pode ser influenciada.

Foram apresentados normas e critérios para implantação de dispositivos de controle da velocidade veicular, assim como a descrição e funcionalidade destes. Seguido por um detalhamento das ondulações transversais, e posteriormente de outros dispositivos como radares eletrônicos.

O objetivo principal foi entender a relação entre a acidentalidade e a velocidade veicular, e como ela pode interferir na severidade dos acidentes. Portanto, tendo em vista a necessidade de tornar mais seguros os trechos viários de uso compartilhado entre pedestres e motoristas, adotam-se medidas de acordo com o problema e a circunstância do local a ser analisado, selecionando dispositivos de controle de velocidade descritos neste capítulo.

3. MÉTODOS

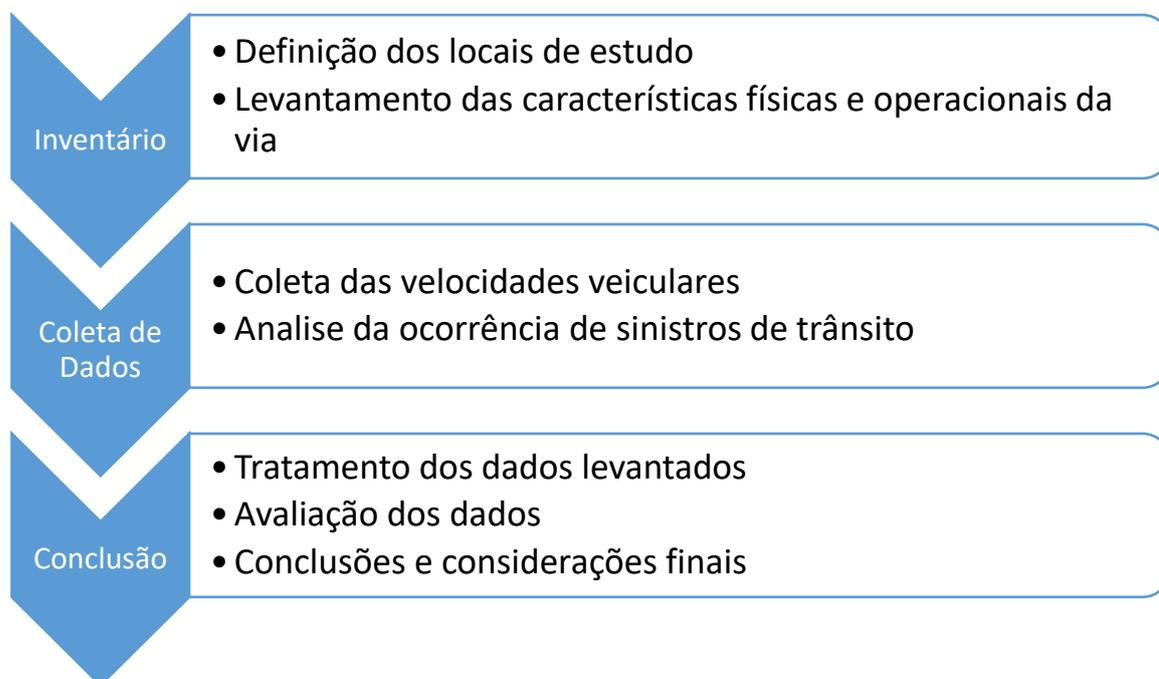
Conforme descrito na revisão bibliográfica, diversos fatores podem interferir na variação das velocidades dos veículos que trafegam nas vias urbanas, sendo a ondulação transversal um dispositivo que busca controlar de forma imperativa o excesso da velocidade.

Essa pesquisa consistiu em analisar as variações de velocidade veicular em trechos viários urbanos, de forma a tentar mensurar a relevância desse dispositivo para segurança viária.

3.1. Sistematização da metodologia

Para avaliação da influência das ondulações transversais na segurança viária, foram realizadas coletas de dados de velocidades antes e após a instalação do dispositivo, bem como serão analisados dados de acidentes de trânsito nas proximidades de lombadas existentes.

Figura 6: Sequência de etapas do método proposto



Fonte: Elaborado pelo Autor

3.2. Inventário de estudo

3.2.1. Definição do local de estudo

Nessa fase, foi selecionado um trecho urbano viário sem a presença de ondulação transversal, que apresentou índice significativo de acidentes sendo a principal causa o excesso de velocidade, e que possuísse programação do órgão gestor de trânsito para implantação do dispositivo.

Também foi escolhida uma ondulação transversal já existente, inserida em um contexto de moderação de tráfego trabalhando em conjunto com outros dispositivos, para verificação da redução de velocidade média no trecho a ser estudado, e análise de ocorrência de sinistros de trânsito antes do período de implantação e após, de acordo com a planilha de acidentes da PMMG para a cidade de Contagem-MG.

Logo após a definição dos locais previstos, foi feita uma caracterização viária do trecho analisado.

3.2.2. Levantamento das características físicas e operacionais da via

Para entender o contexto do excesso de velocidade e da necessidade de implantação da ondulação transversal é preciso ter conhecimento da área de influência do dispositivo.

Em vista de obter as variáveis físicas do trecho a ser estudado, deve ser analisado e formulado as seguintes características viárias:

- Classificação viária;
- Uso e ocupação do solo;
- Características geométricas da via;
- Polos geradores de viagens;
- Rotas de transporte público coletivo.

- Motivação da implantação do dispositivo redutor.

3.3. Coleta de dados

A coleta de dados consistiu na pesquisa de campo para obtenção das velocidades veiculares antes e após a implantação da ondulação transversal. Além da análise das características físicas e operacionais do trecho a ser estudado.

3.3.1. Coleta das velocidades veiculares

Consiste na obtenção dos dados de velocidade veicular dos trechos que antecedem e sucedem a OT, através da medição *in-situ* com auxílio de um radar portátil. As coletas foram realizadas nos períodos entre-pico para evitar o alto fluxo de veículos e conseqüentemente a baixa velocidade, o que atrapalharia a pesquisa. Ao todo serão realizadas 20 medições de velocidade em cada ponto proposto.

Para medição das velocidades, é importante que o posicionamento do pesquisador não seja evidente para o motorista, pois modificaria a ação natural a ser realizada pelo condutor.

A primeira medição foi antes da implantação da OT, no local exato onde estiver programado a instalação do dispositivo.

Logo após a implantação serão coletados dados da velocidade de aproximação e de passagem do dispositivo, ser seja viável calcular a desaceleração do veículo. Também foi medida a velocidade 50 metros após a OT, a fim de verificar a aceleração após a passagem pelo dispositivo. As mesmas análises foram aplicadas para uma ondulação transversal já existente, trabalhando em conjunto com outros dispositivos moderadores de tráfego.

3.3.2. Análise da ocorrência de sinistros de trânsito

A análise partiu da verificação sistemática da planilha de acidentes de trânsito da PMMG, da área de influência de uma ondulação transversal antes e após sua implantação. Comparando os dados de quantidade de acidentes e severidade dos acidentes, a partir de uma análise gráfica.

3.3.3. Escolha do local de pesquisa

Nessa etapa foi escolhido o local de pesquisa que receberá a implantação de uma ondulação transversal para controle da velocidade veicular. Com base na informação prévia de órgãos gestores de trânsito responsáveis pela instalação destes dispositivos, foi escolhido um local com sinalização e pavimentação em bom estado de conservação, que não influenciem na retomada de velocidade do veículo.

O entendimento da área afetada pela ondulação transversal desempenha um papel crucial na análise do comportamento da velocidade dos veículos. Essa área representa a região na qual as velocidades são influenciadas pela presença da ondulação transversal.

Para identificar as características físicas viárias do trecho a ser estudado, foi elaborado um formulário de campo, visando as seguintes informações:

- Identificação do parcelamento do solo no trecho a ser estudado;
- Características geométricas da via como largura da pista e do passeio, número de faixas, estado da sinalização e inclinação;
- Polos geradores de viagens, como escolas, comércios, hospitais e etc;
- Classificação viária conforme estabelece o CTB.

3.4. Análise dos dados

Após a coleta dos dados de velocidade veicular e das características viárias que compõe o sistema em que a lombada está inserida, os valores passaram por uma estruturação dos dados para viabilizar a análise de variação das velocidades. A primeira etapa da edição de dados consistiu em transformar os valores anotados em tabela no Software Excel. Logo após, serão construídos gráficos da velocidade média e de aceleração/desaceleração e seus respectivos desvios e erros amostrais.

Buscando refinar as amostras coletadas em campo, foi realizado o teste de Grubbs, que consiste na verificação da existência de valores dispersos em cada extremidade do conjunto. O Valor de Grubbs (G) é comparado a um valor crítico, dado nível de confiança escolhido. Para o estudo, foi adotado o nível de confiança de 95% e valor crítico G de 3.207.

Portanto, se G calculado for maior que o G crítico adotado, o valor é considerado discrepante e logo após removido da amostra. Para aplicação do teste utilizou-se da equação.

$$G = \frac{|V - \bar{X}|}{S}$$

Em que,

G = Valor de Grubbs;

V = Valor máximo ou mínimo de velocidade (km/h);

\bar{X} = Média;

S = Desvio padrão.

Conforme o intervalo de segurança adotado, os valores de G devem ser menores que 3 para que os dados sejam mantidos na amostra, caso contrário, o valor deve ser descartado.

A fim de assegurar a veracidade e qualidade dos dados coletados só foram consideradas as medições em que os veículos estavam livres, ou seja, sem interferência de outros veículos.

4. PESQUISA SOBRE O IMPACTO DA IMPLANTAÇÃO DE ONDULAÇÕES TRANSVERSAIS NA VELOCIDADE VEÍCULAR

Neste capítulo, abordaremos a pesquisa realizada no trecho viário que foi implantada a ondulação transversal. O objetivo é identificar as variações nas velocidades dos veículos antes e após a implantação da ondulação transversal objeto de estudo.

4.1. Área de estudo

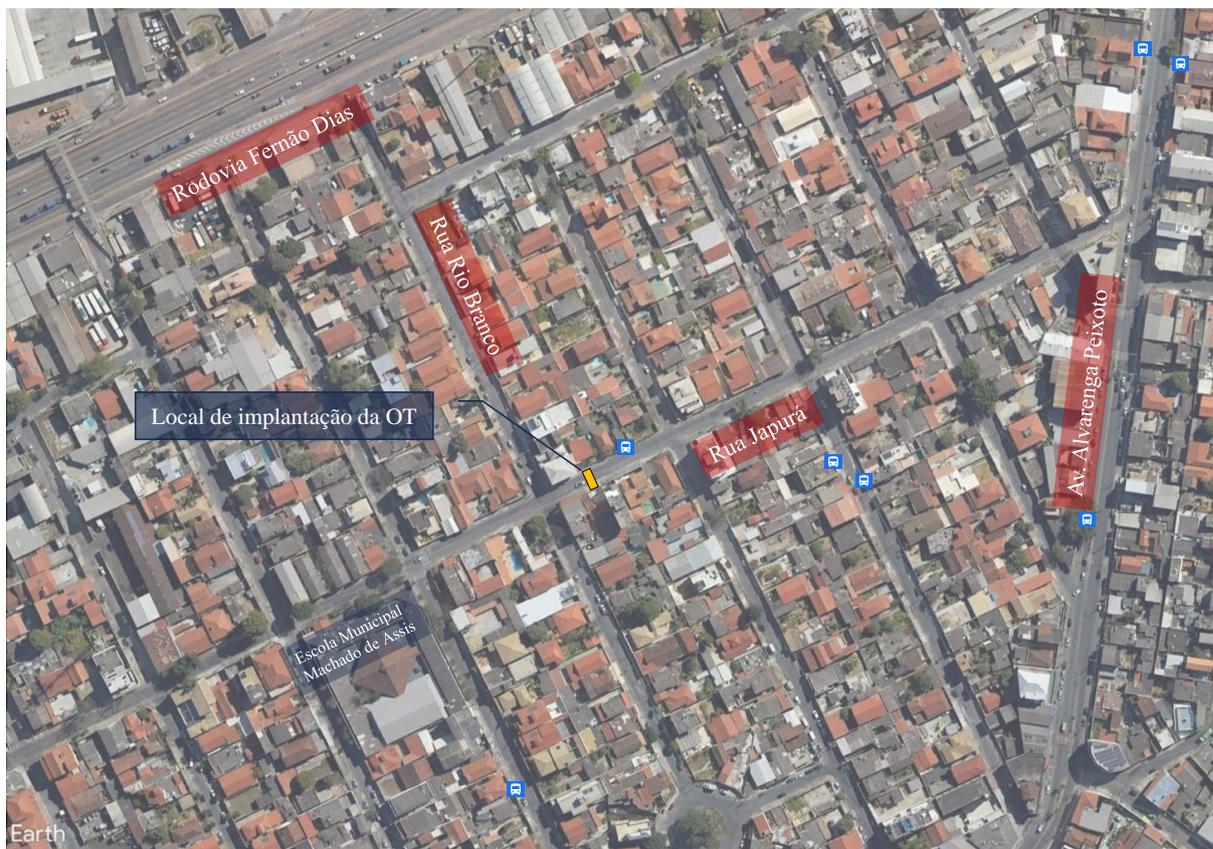
Conforme recomendações do CTB, a implantação de OTs é recomendável para vias coletoras e locais, portanto, adotou-se como critério via com essas categorias de classificação viária.

Assim sendo, foi disponibilizado pela Transcon – Autarquia Municipal de Trânsito de Contagem-MG, a data e local da implantação de ondulações transversais do tipo A. Onde foi escolhido a Rua Japurá, número 298 no bairro Amazonas na cidade de Contagem-MG, por ser uma via com características de coletora, com alto volume de veículos e registro de acidentes. Portanto, a via possui como características:

- Sentido duplo de circulação com 7 metros de largura de pista e uma faixa por sentido;
- Velocidade regulamentada de 30 km/h
- 2,5 metros de largura do passeio;
- 15 metros após o cruzamento com a Rua Rio Branco;
- Bom estado de conservação da pavimentação e sinalizações horizontais e verticais;
- Uso misto do solo, com residências, empresas e uma escola;
- 100 metros da Escola Municipal Machado de Assis.

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** demonstra o local de implantação da ondulação transversal.

Figura 7: Localização do dispositivo



Fonte: Elaborado pelo Autor

O dispositivo contou também com a implantação das placas de regulamentação de 30 km/h (R19) e Placas alertando sobre a presença do dispositivo a 50 metros de distância (A18.5), em ambos os sentidos.

4.2. Coleta de dados

Para a obtenção dos dados de velocidade, utilizou-se um radar manual, o Bushnell Modelo 10-1907, cuja capacidade de alcance chega a 400 metros. Este dispositivo emite micro-ondas que são refletidas pelos veículos e, por meio do efeito Doppler, reage ao recapturá-las, permitindo, assim, o registro da velocidade instantânea.

As medições de velocidades foram realizadas antes da implantação do dispositivo no dia 04/10/2023 (quarta-feira), com a finalidade de se obter a real redução de velocidade no trecho. Após a instalação da ondulação transversal, foram feitas medições do momento em que os veículos passavam pelo dispositivo no dia 05/10/2023 (quinta-feira), assim como 20 e 50 metros após a passagem.

Ao todo foram feitas 148 medições antes da implantação do dispositivo e 280 após, sendo dessas 200 no momento de passagem sobre a lombada, 50 após 20 metros da OT e 30 após 50 metros.

Para evitar interferências externas no comportamento dos motoristas, as medições foram feitas com a preocupação de posicionar o pesquisador fora do alcance da visão dos motoristas.

4.3. 207 Tratamento dos dados

Após a coleta dos dados, foi aplicado o teste de Grubbs, que desempenha um papel valioso na detecção de outliers, isto é, observações que se destacam ou estão significativamente afastadas do conjunto de dados. Este procedimento estatístico oferece a capacidade de identificar valores que, estatisticamente, devem ser excluídos ou desconsiderados ao conduzir uma análise. Além disso, o teste de Grubbs é uma ferramenta útil para validar a adequação de todos os pontos considerados em uma curva analítica.

Para o estudo, foi adotado o nível de confiança de 95% e valor G de 3,207. Portanto, se o valor calculado for maior que o crítico de 3,207, será considerado discrepante e retirado da amostra.

Figura 8: Valores críticos de Grubbs

Number of Observations n	Values of Grubbs Statistic (G)					
	Confidence Level (%)					
	99.9	99.5	99	97.5	95	90
3	1.155	1.155	1.155	1.155	1.153	1.148
4	1.499	1.496	1.492	1.481	1.463	1.425
5	1.780	1.764	1.749	1.715	1.672	1.602
6	2.011	1.973	1.944	1.887	1.822	1.729
7	2.201	2.139	2.097	2.020	1.938	1.828
8	2.358	2.274	2.221	2.126	2.032	1.909
9	2.492	2.387	2.323	2.215	2.110	1.977
10	2.606	2.482	2.410	2.290	2.176	2.036
11	2.705	2.564	2.485	2.355	2.234	2.088
12	2.791	2.636	2.550	2.412	2.285	2.134
13	2.867	2.699	2.607	2.462	2.331	2.175
14	2.935	2.755	2.659	2.507	2.371	2.213
15	2.997	2.806	2.705	2.549	2.409	2.247
16	3.052	2.852	2.747	2.585	2.443	2.279
17	3.103	2.894	2.785	2.620	2.475	2.309
18	3.149	2.932	2.821	2.651	2.504	2.335
19	3.191	2.968	2.854	2.681	2.532	2.361
20	3.230	3.001	2.884	2.709	2.557	2.385
30	3.507	3.236	3.103	2.908	2.745	2.563
40	3.673	3.381	3.240	3.036	2.866	2.682
50	3.789	3.483	3.336	3.128	2.956	2.768
60	3.874	3.560	3.411	3.199	3.025	2.837
70	3.942	3.622	3.471	3.257	3.082	2.893
80	3.998	3.673	3.521	3.305	3.130	2.940
90	4.044	3.716	3.563	3.347	3.171	2.981
100	4.084	3.754	3.600	3.383	3.207	3.017

Fonte: ASTM E178-00, "Standard Practice for Dealing with Outlying Observations"

Com base no intervalo de segurança estabelecido, os valores de G precisam ser inferiores a 3,207 para que os dados sejam considerados válidos. Caso contrário, a velocidade mais alta ou mais baixa é excluída da amostra, e então, inicia-se um novo teste. A Tabela 1 apresenta os valores de G calculados para as medições realizadas.

Tabela 1: Valores de G para as amostras coletadas

	Velocidade Máxima (km/h)	Grubbs (G)	Hipótese	Velocidade Mínima (Km/h)	Grubbs (G)	Hipótese
Antes da Implantação	56	3,13	Aceito	20	2,00	Aceito
No dispositivo	29	3,33	Recusado	13	2,18	Aceito
No dispositivo	28	2,99	Aceito	-	-	-
20 metros após	51	4,56	Recusado	23	1,37	Aceito
20 metros após	40	2,23	Aceito	-	-	-
50 metros após	50	2,71	Aceito	24	1,70	Aceito

Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme indica a Tabela 1, apenas duas velocidades foram consideradas discrepantes e recusadas. Sendo descartadas as velocidades de 29 km/h na passagem do dispositivo e 51 km/h 20 metros após a passagem.

Após os testes, foram calculadas as médias de velocidade, desvios padrões e erros amostrais, conforme apresenta a Tabela 2.

Tabela 2: Média, desvio e erro amostral

	Velocidade Média (km/h)	Desvio	Erro
Antes da Implantação	34,04	7,02	0,58
No dispositivo	19,29	2,83	0,20
20 metros após	29,02	3,59	0,51
50 metros após	34,03	5,89	1,07

Fonte: Elaborado pelo autor

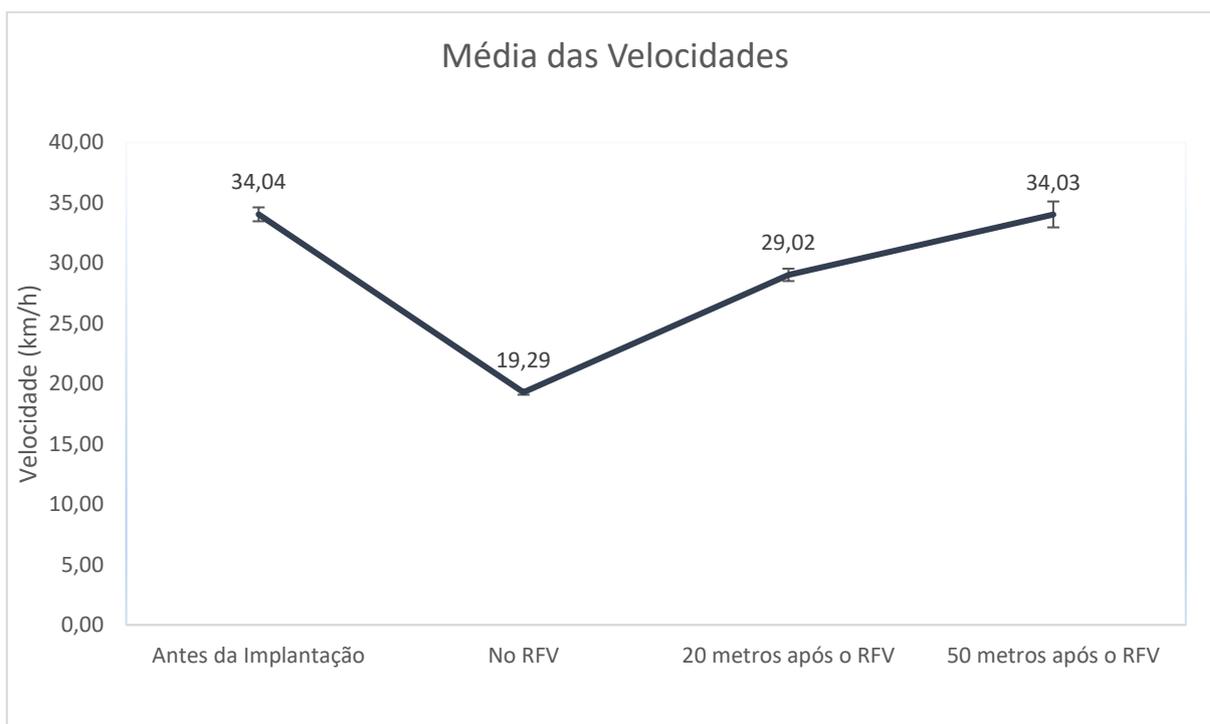
Os dados coletados exibem uma consistência notável, com um desvio padrão baixo, resultando em uma taxa de erro significativamente pequena.

4.4. Análise dos resultados

Conforme descrito na metodologia, os dados foram coletados de forma com que os condutores não percebessem a presença do pesquisador, evitando o comportamento não natural dos motoristas. Além disso, os veículos foram registrados individualmente, sem que houvesse influência do fluxo de tráfego.

Foi verificado que antes da implantação da ondulação transversal, os condutores imprimiam uma velocidade média de 34,04 km/h, ligeiramente acima da velocidade regulamentada da via (30 km/h). Após a implantação do dispositivo a velocidade média caiu pra 19,29 km/h, uma redução de 56,67%. Vinte metros após o dispositivo verificaram-se que a velocidade aumentou para cerca de 29 km/h, um aumento de 50% em relação a passagem pela ondulação transversal.

Gráfico 1: Média das velocidades



Fonte: Elaborado pelo Autor

Da análise, pode-se observar que foi necessária a distância de 50 metros após o dispositivo para que os veículos recuperassem totalmente a velocidade de 34 km/h aferida antes da implantação da ondulação. Portanto, a área de influência da lombada sobre a velocidade veicular é de 50 metros, sendo que, quanto mais próximo do

dispositivo maior é a influência deste, e, a medida em que se afasta essa influência se dissipa de forma linear a aceleração do veículo.

Os Gráfico 2 e Gráfico 3 apresentam um histograma com a curva de distribuição normal das velocidades coletadas antes da implantação do dispositivo, e após, respectivamente. É notável a concentração das amostras em torno da média encontrada após a implantação do dispositivo. Ao passo que a média de 34 km/h calculada antes da implantação, não é a faixa de valor mais observado pela amostra.

Gráfico 2: Histograma e distribuição normal antes da implantação do dispositivo.

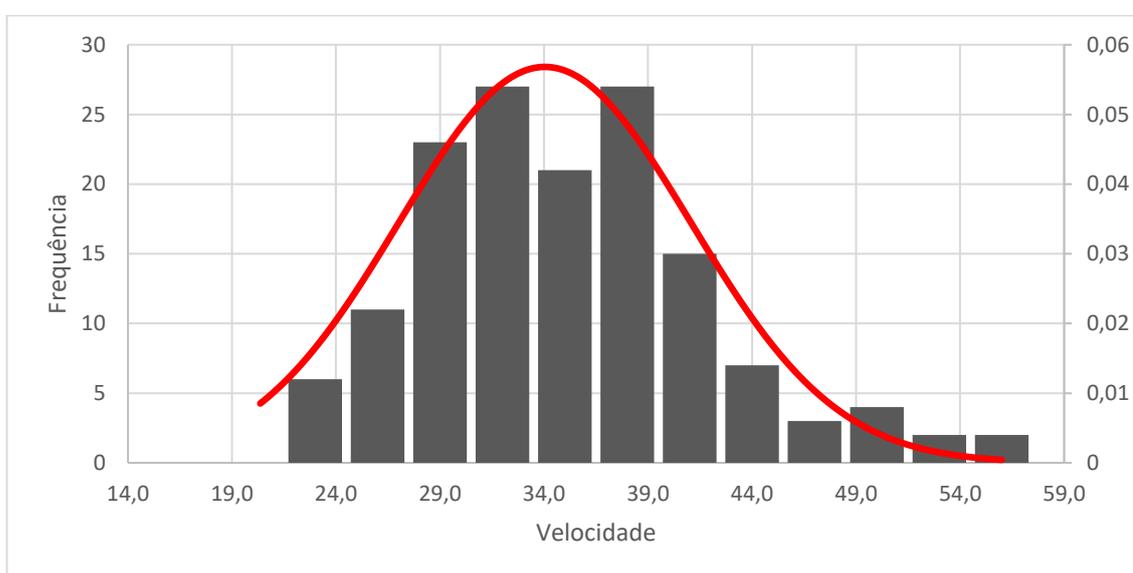
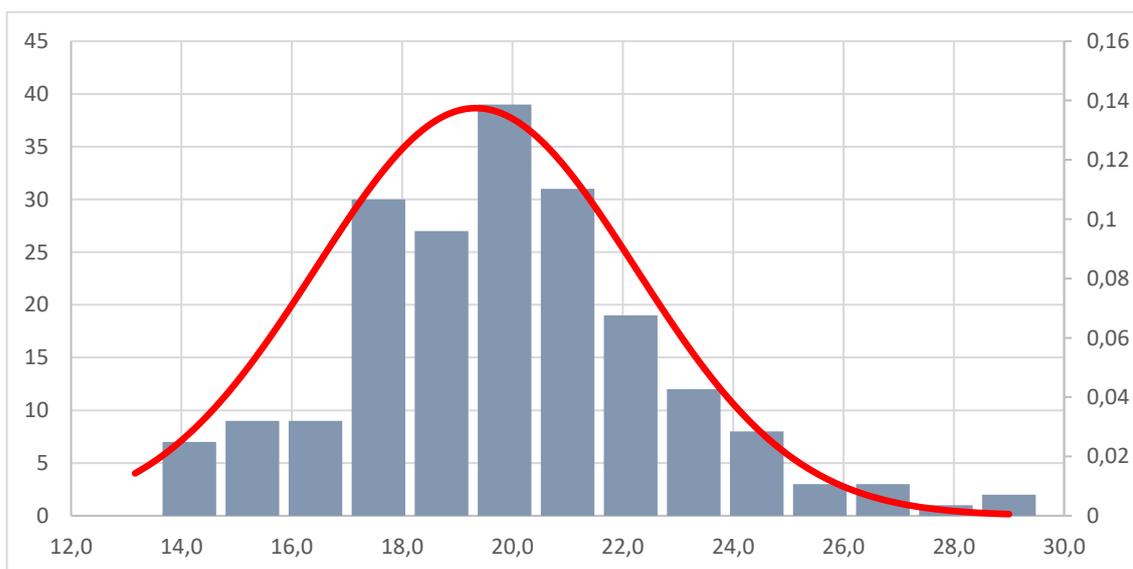


Gráfico 3: Histograma e distribuição normal após da implantação do dispositivo

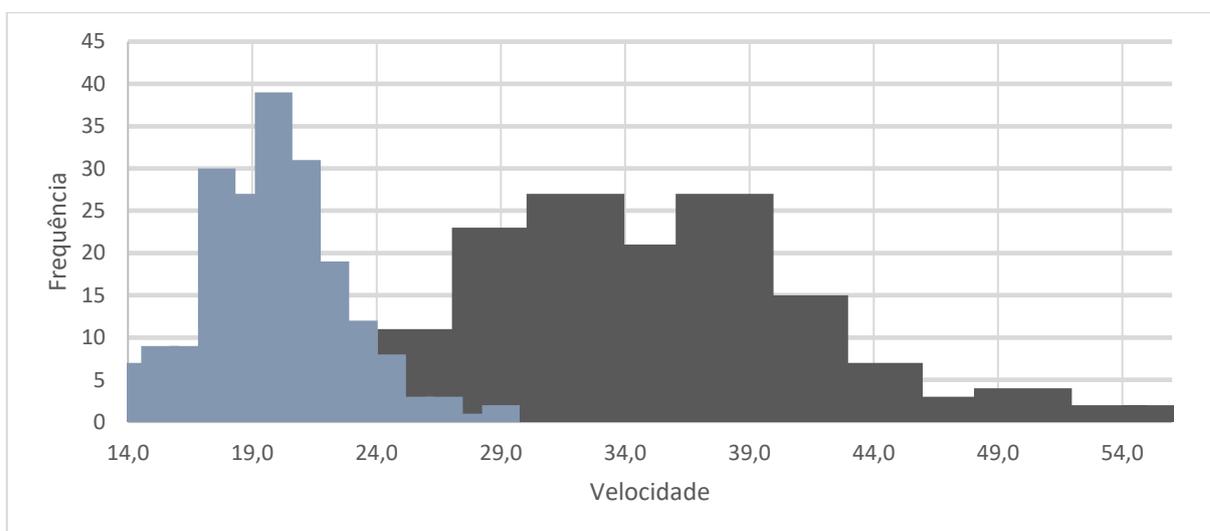


Fonte: Elaborado pelo autor

Também é possível notar de forma mais ampla a redução na velocidade do trecho, para melhorar essa visualização, foi gerado o Gráfico 4, com ambos os histogramas lado a lado.

De cinza temos o histograma das velocidades antes e de azul após a implantação da ondulação transversal. A diferença de frequências se deve a diferença na quantidade de coletas realizadas, tendo sido feitas mais coletas após a implantação do dispositivo.

Gráfico 4: Histograma dos cenários antes e após implantação do dispositivo



Fonte: Elaborado pelo autor

4.5. Conclusão

Diante do exposto, através de simples análises de desempenho, entende-se que essa pesquisa possa trazer contribuições para subsidiar os órgãos gestores de tráfego durante as implantações deste dispositivo redutor de velocidade nas vias urbanas.

5. ANÁLISE DOS ÍNDICES DE SINISTROS

Como parte da metodologia do trabalho, nesse capítulo pretende-se analisar a variação na quantidade de acidentes em uma via urbana pública, após a implantação de uma ou mais ondulações transversais.

5.1. Escolha do local

Para ter margem de dados em ambas as épocas, antes e após a existência do dispositivo, optou-se por escolher uma data de implantação anterior a pandemia. A análise foi feita para toda a Avenida Durval Alves de Faria no bairro Petrolândia – Contagem/MG, que, no mês de maio de 2020 passou por um recapeamento asfáltico, e foram implantadas 7 (sete) ondulações transversais do tipo A ao longo de todo seu percurso, conforme aponta a imagem abaixo.

Figura 9: Locais de implantação das OT's



Fonte: Elaborado pelo autor

5.2. Análise dos índices

Portanto, foram analisados os índices de sinistros da referida avenida ao longo dos anos de 2018 a 2023, de acordo com a planilha de acidentes disponibilizada pela PMMG. O Quadro 6 apresenta um resumo dos sinistros na Av. Durval Alves de Faria.

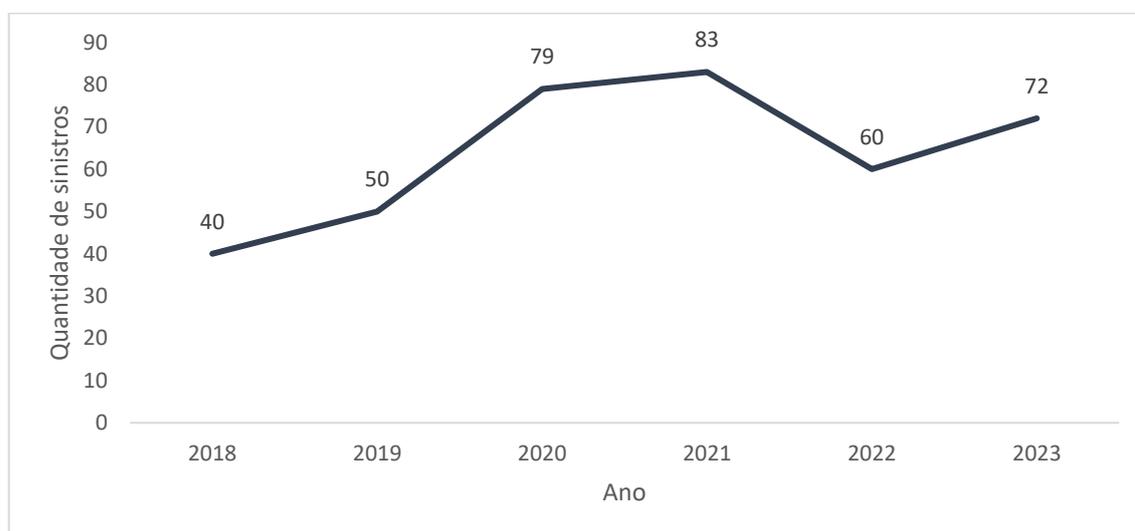
Quadro 6: Sinistros na Av. Durval Alves de Faria

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Sinistros com vítima	9	6	16	22	12	13
Sinistros sem vítima	31	44	63	61	48	59
Total	40	50	79	83	60	72

Fonte: Adaptado PMMG

A partir das informações apresentadas, verifica-se o aumento do índice de acidentes a partir da implantação das OT's. Isso indica que os dispositivos inicialmente não tiveram êxito em conter o aumento de velocidade dos veículos em virtude da melhora na pavimentação asfáltica ou até mesmo do crescimento populacional do bairro.

Gráfico 5: Total de sinistros



Fonte: Elaborado pelo autor

Portanto, verificou-se que para o caso estudado, a implantação de ondulações transversais na via não resultou na redução do índice de sinistros com ou sem vítimas.

6. CONCLUSÃO

A gestão do tráfego urbano em qualquer cidade requer um entendimento contínuo e sistemático do comportamento do fluxo de veículos nas vias. Uma das decisões cruciais tomadas pelos gestores de tráfego envolve a implementação de medidas para controlar a velocidade.

Atualmente, existem diversos dispositivos moderadores de velocidade que visam controlar velocidades excessivas em vias urbanas. Cada dispositivo tem uma característica específica e apresenta resultados mais eficazes em locais específicos, contribuindo para a segurança dos usuários da via e a redução de acidentes. Podemos classificar esses dispositivos em três categorias: os físicos, eletrônicos e moderadores.

Entre os dispositivos físicos, a ondulação transversal se destaca por agir de forma imperativa na velocidade dos veículos. Quando implementada de acordo com os padrões e critérios estabelecidos pelo CONTRAN (2021), essa ondulação representa uma alternativa eficiente para combater velocidades excessivas.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia das ondulações transversais como redutores de velocidade, contribuindo para orientar os técnicos durante a implantação desses dispositivos. O estudo abrangeu as variações das velocidades veiculares antes e após a implantação da ondulação transversal, assim como a distância que o veículo necessita para atingir a velocidade medida antes da existência do dispositivo.

O trabalho mostrou que para o trecho pesquisado, a redução de velocidade após a implantação do dispositivo foi significativa, diminuíram para cerca de 19 km em média, ou seja, uma redução de 56,67% em relação a velocidade média de 34,04 km/h

Verificou-se que foi necessária uma distância total de 50 metros para que os veículos atingissem a velocidade medida no local antes da implantação do dispositivo, ou seja, pode-se inferir que a OT tem uma área de atuação linear de 50 metros.

Ademais, durante a análise dos índices de acidentes, não foi possível observar redução no número de sinistros. Pelo contrário, fatores como melhoria na pavimentação asfáltica e crescimento da população foram mais relevantes e

aumentaram o número de sinistros nos anos subsequentes a implantação do dispositivo.

Observa-se que as ondulações transversais tem um papel significativo na redução de velocidade das vias por agirem de forma imperativa, contudo, por possuírem uma área curta de atuação devem ser implantadas de forma estratégica para facilitar travessias de pedestres ou o cruzamento de veículos.

Como forma complementar ao estudo, sugere-se como tema para futuras pesquisas o impacto das ondulações transversais na capacidade viária, uma vez que a redução de velocidade gera a redução do número de veículos/hora a passar por uma seção viária.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Heloisa Maria; MOURA, M. V. Ondulações Transversais para controle da velocidade veicular. In: **XXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes**. 2008.

BRASIL. Ministério das Cidades. Conselho Nacional de Trânsito. Departamento Nacional de Trânsito. **Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito**. 2018.

GAO - General Accounting Office, 2003, Research Continues on the Variety of Factors That Contribute to Motor Vehicle Crashes. Report to Congressional Requesters No. GAO-03-436, EUA. Disponível em: <<http://www.gao.gov/new.item1s/d03436.pdf>> Acesso em mai. 2022.

CARVALHO, Lorrana Ferreira Andrade; ALVES, Karolayne; CARRIJO, Selma Araújo. A UTILIZAÇÃO DE TACHÃO COMO REDUTOR DE VELOCIDADE NO MUNICÍPIO DE MINEIROS-GO. In: **Anais Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar (ISSN-2527-2500) & Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar**. 2019.

CEP, Comissão de Ética Pública. **O quebra-molas**. Brasília ,2021. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/etica-publica/sistema-de-gestao-da-etica/boletim-informativo/boletins-informativos-2021/setembro-2021-minutodaetica-1.pdf/vie>FERRAZ, A. C. P. C. et al. **Segurança viária**. São Carlos, SP: Suprema Gráfica e Editora, 2012. Acesso em: 10 mai. 2022.

CNT, Confederação Nacional do Transporte. **Infraestrutura deficiente é fator preponderante na ocorrência de acidentes com vítimas**. Brasília, 2018. Disponível em < <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/infraestrutura-deficiente-causa-acidentes-com-vitimas>>. Acesso em: 10 mai. 2022.

CNT, Confederação Nacional do Transporte. **Países em desenvolvimento têm desafio maior para redução dos acidentes de trânsito**. Brasília, 2015. Disponível em < <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/paises-em-desenvolvimento-tem-desafio-maior-para-reducao-dos-acidentes-de-transito-xnt>>. Acesso em: 10 mai. 2022.

CONTRAN, (1980) Resolução de Nº 39 de 21 de maio de 1998, Estabelece os padrões e critérios para a instalação de ondulações transversais e sonorizadores nas vias públicas. Brasília 1998.

CONTRAN (2003) Resolução nº 146 de 27 de agosto de 2003. Dispõe sobre requisitos técnicos mínimos para a fiscalização da velocidade de veículos automotores, reboques e semirreboques, conforme o Código de Trânsito Brasileiro, Brasília.

CONTRAN (2004) Resolução Nº 160, de 22 de Abril de 2004. Anexo II do Código de Trânsito Brasileiro - CTB, anexo a esta Resolução.

CONTRAN (2016) Resolução Nº 601, de 24 de Maio de 2016. Estabelece os critérios e padrões para a instalação de sonorizador nas vias públicas, disciplinados pelo Parágrafo único do art. 94 do Código de Trânsito Brasileiro- CTB

CONTRAN. Manual Brasileiro de Sinalização volume IV, Dispositivos Auxiliares, MINISTÉRIO DA CIDADE. Dep. Nacional de Transito. Brasília, 2016.

CORREA, Priscila Elias et al. Impacto das ondulações transversais na qualidade do transporte público coletivo na cidade de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. **ES Engineering and Science**, v. 10, n. 2, p. 1-14, 2021.

DAROS, E. J. O pedestre. **ABRASPE, São Paulo, SP**, 2000.

D'AVILA, Rogério Faria; MELO, Clarissa Pontes; BARBOSA, Heloisa Maria. CALIBRAÇÃO DO MODELO PARA ESTIMATIVA DE VELOCIDADE EM ONDULAÇÕES TRANSVERSAIS EM VIAS URBANAS.

DE SOUSA, Julia Carolina Cavalcante et al. Análise das ondulações transversais do município de santa luzia do pará. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 8, n. 4, p. 14175-01e, 2022.

DFT (2000) New directions in speed management: a review of policy. Department For Transport. Site: <http://www.dft.gov.uk>. Acessado em 15 de novembro de 2022.

DNIT (2006) Manual de Estudos de Tráfego. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Rio de Janeiro.

DOS SANTOS, Juliano Alberto. CONSTRUÇÃO DE LOMBADAS EM VIAS URBANAS: UM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE PATROCÍNIO–MG.

FERRAZ, A. C. P. C. et al. Segurança viária. São Carlos, SP: Suprema Gráfica e Editora, 2012.

GUIMARÃES, Arthur Viana et al. Inovação e colaboração governamental para recuperar veículos roubados e furtados. **Administração Pública e Gestão Social**, 2021.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Custos dos acidentes de trânsito no Brasil: estimativa simplificada com base na atualização das pesquisas do IPEA sobre custos de acidentes nos aglomerados urbanos e rodovias**. Brasília, 2020.

KAWAMOTO, E. Análise de Sistemas de Transporte. 2ª edição, revista e aumenta. **São Carlos: USP**, 1994.

Maciel, E. T. (2010). Estudo dos impactos da ondulação transversal nas velocidades veiculares em trechos viários urbanos. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 112fl.

Manual de Medidas Moderadoras de Tráfego, elaborado pela Empresa de Transportes e trânsito de Belo Horizonte S/A – BHTRANS, pela Fundação Christiano Ottoni e pelo Núcleo de Transportes da Escola de Engenharia da UFMG – NUCLETRANS, 1999.

MONTEIRO, P. R. S. (2004) Gestão de Tráfego com o Uso de Dispositivos Eletrônicos de Controle de Velocidade. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro.

NETO, Osias Baptista. Impactos da moderação de tráfego na vitalidade urbana. 2012.

ONU, Organização das Nações Unidas. **Especialista destaca progresso significativo em mortes no trânsito na última década**. São Paulo, 2021. Disponível em < <https://news.un.org/pt/interview/2021/05/1751162>> Acesso em: 10 mai. 2022.

SCHUMACHER, Florian Immanuel. **Análise custo-benefício de ondulações transversais e redutores eletrônicos de velocidade no Brasil**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SAFETY, Highway. **Research continues on a variety of factors that contribute to motor vehicle crashes**. Report GAO-03-436. US General Accounting Office, 2003. Google Scholar, 2003.

STUMPF, M.T (1998). Análise dos efeitos da barreira eletrônica com informador de velocidade sobre a operação do tráfego. 1998. 90f. Dissertação (Mestrado em Transportes Urbanos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília.

GRUBBS, F. E. Procedures for detecting outlying observations in samples. *Technometrics*, v. 11, n. 1, p. 1-22, 1969.