

# **AVALIAÇÃO DO EFEITO DE ONDULAÇÕES TRANSVERSAIS NA VELOCIDADE EM VIAS URBANAS**

**Cibele Garcia Patrocínio  
Flávio Henrique Coelho dos Santos  
Heloisa Maria Barbosa**

Núcleo de Transportes – NUCLETRANS  
Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia  
Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

## **RESUMO**

Este artigo tem por objetivo avaliar a eficiência de ondulações transversais, através da análise de seus impactos na velocidade dos veículos leves. O estudo de ondulações transversais envolveu quatro etapas: (i) seleção dos locais com ondulações transversais situados na região oeste de Belo Horizonte; (ii) elaboração de cadastro viário dos locais selecionados; (iii) coleta de dados para registro da velocidade pontual, utilizando-se um radar de mão, em dois pontos da via: no dispositivo e no ponto da velocidade de fluxo livre, neste trabalho considerado como o ponto onde o veículo inicia a redução de velocidade em função da presença da ondulação transversal; e (iv) determinação das variáveis e das relações que expliquem a velocidade dos veículos ao transpor ondulações transversais.

## **ABSTRACT**

This article aims at evaluating the efficiency of road humps, through the analysis of their impact on the speed of light vehicles. The study of road humps involved four steps: (i) site selection with road humps located in the west region of Belo Horizonte city; (ii) preparation of road inventory of the selected sites; (iii) data collection in order to measure spot speeds using a radar gun in two points of the road: at the device and at the point of free flow speed, which is considered as the point where the vehicle starts the speed reduction in function of the presence of the road hump; and (iv) determination of variables and their relationship to explain the speed of vehicles crossing over speed humps.

## **1. INTRODUÇÃO**

No decorrer do tempo as cidades estão cada vez mais dinâmicas, novas atividades surgem acompanhando o desenvolvimento tecnológico, e cada vez mais o transporte se torna essencial para dar continuidade a este processo de crescimento. As vias como componentes do sistema de transporte, especificamente terrestre, precisam ser projetadas para que o sistema de transporte atenda às necessidades dos usuários, em conformidade com o ambiente urbano. No entanto, muitas cidades, não só no Brasil e também no mundo, tem sido atingidas por problemas como degradação ambiental, alto índice de acidentes de trânsito e pouca fluidez do tráfego, pagando um preço alto pela falta de planejamento e de diretrizes que contemplem alternativas mais sustentáveis. Apenas em Belo Horizonte, segundo informações da Polícia Militar de Minas Gerais, em 2008 foram registrados 2200 acidentes, colisões envolvendo vítimas ou não, em vias localizadas no Hipercentro da cidade, região central da cidade, o que pode ser interpretado como uma real necessidade de novas estratégias de transporte, direcionadas para as questões mais urgentes como a segurança viária. O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2003) estimou o custo anual dos acidentes de trânsito em áreas urbanas na ordem de R\$5,3 bilhões em 2001, e os custos médios unitários em R\$3,3 mil para os acidentes sem vítimas, R\$17,5 mil para os acidentes com feridos, e R\$144,00 mil para os acidentes com mortes. Um fator que reforça ainda mais a preocupação com esses números é o crescimento da frota de veículos. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a Frota de Belo Horizonte em 2007 era de 730.723 veículos e a de São Paulo 4.009.301 veículos. Esses valores

representam 31% e 36% da população de Belo Horizonte e de São Paulo, respectivamente. Diante deste cenário, que mostra o uso intenso das vias urbanas, bem como a necessidade de controle do tráfego para manutenção da qualidade de vida, percebe-se a necessidade de desenvolvimento de projetos viário e de circulação integrados, com a adoção de medidas que contemplem os vários objetivos desses projetos, dentre eles o controle do nível de velocidade praticado nas vias. A moderação de tráfego apresenta-se como uma técnica muito adequada para esse objetivo, reduzindo a velocidade do tráfego motorizado, possibilitando também o controle do volume veicular principalmente do tráfego de passagem. Portanto, a moderação de tráfego sugere que o tráfego de passagem não seja bloqueado, mas sim, desencorajado (Esteves, 2003).

A Moderação de Tráfego (*Traffic Calming*) tem por objetivo acomodar o tráfego de uma maneira aceitável à função que a via exerce, através da redução da velocidade e da revitalização do meio ambiente, revertendo a tendência de degradação ambiental imposta por uma frota de veículos que cresce, e cada vez mais predomina nas cidades. As ondulações transversais compõem o conjunto de medidas de moderação de tráfego e são soluções utilizadas para o controle do nível de velocidade, sendo mais adequadas para vias locais e coletoras, reduzindo assim o número e a severidade dos acidentes de trânsito. A ondulação transversal é um dispositivo com a função principal de proporcionar a redução da velocidade na via, e como consequência induzir o motorista a um modo mais prudente de dirigir.

A adoção da ondulação transversal como solução dos problemas de excesso de velocidade em determinadas regiões requer o conhecimento da sua eficácia, de maneira que a sua aplicação traga o benefício desejado. Assim, este artigo tem por objetivo apresentar o estudo do efeito de ondulações transversais na velocidade de veículos leves, feito a partir de dados de velocidade pontual coletados em 17 locais tratados com ondulações transversais, na região oeste da cidade de Belo Horizonte-MG.

## **2. VELOCIDADE E ONDULAÇÕES TRANSVERSAIS**

As ondulações transversais devem seguir os padrões estabelecidos pelo CONTRAN- Conselho Nacional de Trânsito, através da resolução Nº 39, de 21 de maio de 1998, que estabelece os padrões e critérios para a instalação de ondulações transversais nas vias públicas, disciplinados pelo Parágrafo único do Art. 94 do Código de Trânsito Brasileiro. Os tipos de ondulações mais utilizados são aqueles que apresentam a mesma largura da pista, mantendo a drenagem, perfil circular com comprimento de 3,7m e altura (máxima) de 0,1m.

Esse padrão é muito utilizado, mas pouco se sabe sobre o efeito das ondulações transversais no Brasil. Apesar da Moderação de Tráfego não ser muito conhecida no seu sentido amplo, algumas medidas físicas que a compõe são utilizadas na maioria das cidades e rodovias brasileiras (Raia Jr., 1999). Barbosa e Moura (2006) avaliaram a influência de ondulações transversais nas velocidades de veículos leves, na cidade de Belo Horizonte. O estudo analisou oito ondulações transversais e constatou que a média geral das velocidades nos dispositivos foi de 19,5 km/h, e a redução média geral de velocidade foi de 20,7%. Como redução foi considerada a diferença entre a velocidade de fluxo livre e a velocidade no dispositivo. O estudo indicou que a velocidade em que os veículos trafegam em fluxo livre

não influencia diretamente na velocidade do veículo ao passar sobre o dispositivo, mas sim na redução de velocidade ocasionada pela presença do mesmo.

No município de Rio Grande-RS, Vieira *et al.* (2007) avaliaram a interface do acesso a um *shopping*, para proporcionar maior segurança e mobilidade aos frequentadores do local, que concentra um intenso fluxo de veículos dificultando a travessia de pedestres para acesso ao *shopping*. A construção de uma plataforma mostrou-se a alternativa mais adequada dentre as medidas moderadoras de tráfego. O estudo constou de levantamento de opinião dos usuários, análise das características da via, do tráfego local, e também do histórico acidentológico da via, para então dimensionar a plataforma e elaborar o projeto executivo.

Ao contrário do Brasil, no exterior as ondulações transversais foram pesquisadas com maior intensidade. Barbosa *et al.* (2000) utilizaram quatro tipos de medidas de moderação de tráfego: ondulações, plataformas, almofadas e chicanas implementadas em sequência. Um modelo empírico foi desenvolvido usando regressão múltipla com dados coletados em três locais. O modelo mostrou ser uma boa representação dos locais usados na calibração, bem como uma boa representação dos perfis observados nos outros locais. Os autores constataram diferenças nas velocidades de acordo com o tipo de medida, sendo a plataforma a medida que gerou maiores impactos na redução da velocidade seguida pela ondulação transversal, almofada e chicana; os perfis de velocidade revelaram que quanto maior a velocidade de entrada, menor é a redução da velocidade; a velocidade no dispositivo é principalmente afetada pela geometria do próprio dispositivo; quando dois ou mais dispositivos são colocados em sequência, a separação entre eles e o seu tipo contribuem para a explicação das velocidades máximas e mínimas, mas a variação da velocidade máxima é geralmente influenciada também pela velocidade de entrada.

García *et al.* (2010) analisaram diferentes medidas de moderação implantadas em sequência, cujas características geométricas foram medidas utilizando-se um perfilômetro digital, de modo a correlacionar as dimensões dos dispositivos ao comportamento do condutor. Este foi interpretado com o uso de um aparelho de GPS de rastreamento passivo, registrando a posição dos veículos, obtendo-se o perfil contínuo de velocidade ao longo de cada rota analisada. A partir desses perfis foi possível calcular a redução de velocidade entre os elementos moderadores, e no caso das ondulações registrou-se uma redução de 20 a 25 km/h. Ressaltando que essa redução também depende da geometria dos dispositivos e da distância ao dispositivo anterior. Um modelo estatístico ressalta que 70,7% da variância correspondente a velocidade nas ondulações se explica mediante a distância ao elemento anterior.

A influência do comportamento dos condutores diante ondulações e plataformas foi avaliada por Silva *et al.* (2010). Um automóvel foi instrumentado com um conjunto de equipamentos (GPS, câmeras e acelerômetros) que permitiu recolher informações relativas à velocidade, aceleração, rotação instantânea, rotação do motor e posição do veículo. O método adotado revelou-se eficaz para avaliar o desempenho de ondulações transversais e plataforma, bem como o comportamento de condutores quando trafegando por esses dispositivos. A metodologia permitirá a análise das implicações decorrentes destes tipos de medidas no que diz respeito às variações de velocidade e efeitos na poluição atmosférica gerada pelos automóveis.

Dando continuidade ao trabalho acima mencionado Silva *et al.* (2010a) avaliaram os efeitos de ondulações na emissão de poluentes tendo como instrumento de pesquisa o equipamento acima mencionado. Resultados preliminares mostraram um aumento notável nas emissões depois que a ondulação é cruzada. Contudo este efeito negativo não deve ser considerado isoladamente, e sim em conjunto com todas as implicações relevantes, tal como a redução de velocidade e os aumentos na questão da segurança.

Conforme Ewing e Brown (2009) os impactos de medidas de moderação de tráfego dependem primariamente da geometria e do espaçamento. A geometria determina a velocidade na qual os motoristas trafegam pelos dispositivos, e o espaçamento determina o tanto que os motoristas aceleram entre dispositivos de moderação de tráfego. Ainda segundo os autores, dentre todas as medidas de moderação de tráfego, as ondulações transversais tem o maior impacto na velocidade do 85º percentil, reduzindo-as em média mais que 11 km/h, ou 20 por cento.

### **3. MÉTODO**

A avaliação dos impactos de ondulações transversais foi realizada por meio de um estudo de caso. As etapas do estudo consistiram na seleção dos locais tratados com ondulações transversais, na realização do cadastro viário de cada local, na pesquisa de campo para medição de velocidades, e no tratamento dos dados coletados.

#### **3.1 Seleção dos locais**

A escolha dos locais de pesquisa partiu da premissa que as ondulações estivessem situadas no meio de quarteirões, ou onde não houvesse a interferência de interseções, que forçassem a redução da velocidade. Além dessa característica, também foi observada a conservação física dos dispositivos e das vias, e a existência de sinalização vertical e horizontal para haver uniformidade nessas características. Outro fator determinante da escolha do local diz respeito ao aparelho de medição de velocidade (ver item 3.3 adiante) que é adequado para vias de volumes veiculares relativamente baixos. Assim, considerando os requisitos da pesquisa, foram selecionadas 17 ondulações transversais na região oeste de Belo Horizonte, localizadas em vias regulamentadas com velocidade máxima de 30 ou 40 km/h. Das 17 ondulações selecionadas, duas se encontram em vias com ligeira inclinação, e outras duas estão implantadas sequencialmente.

#### **3.2 Cadastro viário**

Após a seleção fez-se um cadastro viário e fotográfico referente às dezessete ondulações transversais selecionadas, coletando informações referentes às características geométricas, físicas e operacionais das vias, como número e largura de faixas de tráfego, existência de faixa de estacionamento no momento do registro, greide das ruas, presença de canteiro central, condições de tráfego e de pavimentação, bem como as medidas geométricas do dispositivo: comprimento, largura e altura das ondulações. Essas características estão dispostas na Tabela 1. Para obtenção dessas medidas foram utilizados prumo e trena metálica. A Figura 1 ilustra duas ondulações selecionadas para o estudo, destacando a padronização das características geométricas e construtivas, e a sinalização utilizada.



**Figura 1:** OT 9 - Rua Amintas Jaques e OT 1 - Av. Cel. José Dias Bicalho Fonte: Pesquisa

**Tabela 1:** Quadro resumo do levantamento cadastral das vias e OTs

OT	Tipo	Faixas /sentido	Canteiro Central	Sinalização	Largura via (m)	Comprimento OT (m)	Altura OT (cm)
1	Coletora	2		X	7,0	3,7	12
2	Coletora	3	X	X	13,0	3,8	11
3	Coletora	3	X	X	10,9	3,7	12
4	Coletora	1		X	6,2	3,3	11
5	Coletora	3	X	X	10,0	3,8	11
6	Local	2		X	6,4	3,8	11
7	Coletora	1	X	X	5,2	3,8	11
8	Coletora	2	X	X	5,4	3,5	12
9	Coletora	2	X	X	7,6	3,7	11
10	Coletora	2	X	X	6,5	3,7	11
11	Coletora	3	X	X	7,7	3,7	12
12	Coletora	2	X	X	6,7	3,5	11
13	Coletora	1		X	5,4	3,0	5,5
14	Coletora	1		X	6,0	3,8	12
15	Local	1		X	4,5	3,8	12
16	Local	1		X	4,5	3,8	12
17	Coletora	2		X	5,5	3,5	10

### 3.3 Medição de velocidade

As medições de velocidades dos veículos foram feitas com um radar de mão *Bushnell Speedster Modelo 10-1907*. Este radar não permite precisar o veículo alvo caso exista mais de um veículo próximo ao ponto de medição. Esta característica implica que o veículo alvo deve estar completamente isolado, isto é, trafegando sem outro veículo se aproximando ou se afastando do veículo alvo. Conforme mencionado anteriormente, a medição não pode ser feita em vias de fluxo intenso, pois não se pode precisar a qual veículo a leitura do radar se refere. A condição de circulação do veículo na via foi um critério para seleção da amostragem para medição de velocidade. Os veículos deveriam trafegar pela via sem a influência de qualquer outro veículo ou fator que interferisse na escolha da velocidade pelo condutor.

O procedimento consistiu no posicionamento do observador em local na via de forma que o motorista não percebesse sua presença com o Radar, fato que influenciaria o comportamento do condutor. O radar de mão tem um alcance de 400m e mede velocidades de afastamento e de aproximação através do efeito Doppler. O melhor resultado é obtido quando o radar é direcionado coincidindo com a linha de percurso do veículo.

O monitoramento da velocidade instantânea foi feito apenas para automóveis (veículos leves), registrada em dois pontos da via: no próprio dispositivo e no ponto de velocidade de fluxo livre, considerado neste trabalho como o ponto onde o veículo inicia a redução de velocidade em função da presença da ondulação transversal. O procedimento resultou na obtenção de um par de velocidades para cada veículo observado. O tamanho da amostra seguiu estudos realizados anteriormente e dados de literatura especializada que considera o erro admissível, o desvio padrão, o coeficiente representativo do nível de confiança, e a constante correspondente ao percentil desejado da velocidade. Seguindo Barbosa e Moura (2008) adotou-se 60 (sessenta) medições, por dispositivo, para a pesquisa de velocidade pontual.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente os dados de velocidade coletados em campo foram tratados por meio de estatística descritiva utilizando *Excel for Windows*. A estatística descritiva para as velocidades instantâneas – média, desvio padrão e mediana – de cada veículo referente ao ponto de velocidade de fluxo livre (velocidade de entrada) e à velocidade na ondulação estão dispostas na Tabela 2, para cada OT pesquisada. A última coluna da Tabela 2 mostra as respectivas reduções de velocidade (%) obtidas pela diferença entre a velocidade de entrada média ( $v_e$ ) e a velocidade no dispositivo média ( $v_d$ ).

**Tabela 2:** Estatística descritiva para as velocidades de fluxo livre e na OT (km/h)

OT	Fluxo livre – velocidade de entrada			No dispositivo			Redução (%)
	Velocidade média	Desvio padrão	Mediana	Velocidade média	Desvio padrão	Mediana	
1	36,6	7,6	35,0	22,9	4,8	22	37,3
2	39,6	6,8	38,0	19,7	2,3	19	49,7
3	42,1	6,4	42	19,2	1,9	19	54,6
4	47,9	8,2	50,5	18,5	1,9	18	50,4
5	38,4	4,6	38,5	19,4	1,5	18	55,9
6	37,1	4,8	37	18,0	3,0	19	55,7
7	37,2	5,1	38	18,4	1,9	18	52,0
8	44,2	7,1	45	18,3	3,1	18	46,5
9	40,6	6,8	41	18,2	1,3	18	51,2
10	33,1	5,9	34	18,4	1,8	17,5	51,9
11	36,6	7,2	37	18,6	1,6	18	61,7
12	37,2	6,2	38	18,6	1,7	18	58,0
13	42,2	8,9	45	21,8	5,4	17	36,1
14	34,2	6,7	34	19,1	7,4	21	44,8
15	34,3	4,8	34	18,1	4,8	18	50,8
16	35,9	7,8	35	18,5	1,4	17	45,5
17	33,0	5,8	34	19,7	2,0	18	46,9

A velocidade média nas OTs varia de 18,0 a 22,9 km/h. A média global das velocidades nos dispositivos é igual a 19,1 km/h, e a redução média geral de velocidade foi também de 19,1 km/h, que corresponde a 50,5% da média das velocidades em fluxo livre. Esses valores são bem semelhantes aos resultados do estudo de Barbosa e Moura (2008) para oito

ondulações na região norte de Belo Horizonte, que encontrou os seguintes valores: 19,5 km/h; 20,7km/h e 50%.

Pela tabela 2, nota-se que uma das menores velocidades de fluxo livre também ocorre na OT 10. Um dos motivos pode estar relacionado com a menor largura da via. Outra observação importante é a maior velocidade média na OT 13, o que pode ser explicado pela altura do dispositivo, que é a menor de todas as ondulações do estudo. A OT 1 também apresenta uma velocidade média alta, e a provável explicação para este fato pode estar relacionada com a tipologia da via, faixas largas, boa visibilidade, trecho analisado à jusante de um declive.

#### 4.1 Impactos das ondulações

A igualdade dos impactos das 17 ondulações transversais nas velocidades nos dispositivos foi analisada entre os pares de ondulações. Esta análise foi feita através do teste-F e do teste-t. O primeiro teste foi conduzido para verificar se a variância das duas ondulações em questão é diferente ou igual. A partir desse resultado foi realizado o teste-t (para variâncias diferentes ou equivalentes) para aceitar ou rejeitar a hipótese de igualdade de impactos. A equivalência desses impactos foi verificada com 99% de confiança. A Tabela 3 resume o resultado do teste-t, indicando a equivalência entre alguns pares de ondulações.

**Tabela 3:** Teste-t de equivalência de impacto na velocidade entre OTs

OT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
vel. média (km/h)	22,9	19,7	19,2	18,5	19,4	18	18,4	18,3	18,2	18,4	18,6	18,6	21,8	19,1	18,1	18,5	19,7
1	-																
2	x	-															
3	x	OK	-														
4	x	x	x	-													
5	x	OK	OK	x	-												
6	x	x	x	OK	x	-											
7	x	x	x	OK	x	OK	-										
8	x	x	x	OK	x	OK	OK	-									
9	x	x	x	OK	x	OK	OK	OK	-								
10	x	x	x	OK	x	OK	OK	OK	OK	-							
11	x	x	OK	OK	OK	x	OK	OK	OK	OK	-						
12	x	x	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	-					
13	OK	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-				
14	x	OK	OK	OK	OK	x	OK	OK	x	OK	OK	OK	x	-			
15	x	x	x	OK	x	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	x	x	-		
16	x	x	OK	OK	OK	x	OK	OK	OK	OK	OK	OK	x	OK	OK	-	
17	x	OK	OK	x	OK	x	x	x	x	x	x	x	x	OK	x	x	-

Pela tabela é possível observar a equivalência de impactos entre muitos pares de ondulações, mas também há vários deles que não apresentam equivalência. Os testes-t indicaram, com 99% de confiança, não haver equivalência entre todos os pares de ondulações. As diferenças podem ser atribuídas às variações de altura das OTs, aclive da via, largura efetiva da via e distância de visibilidade. É interessante notar que a OT 1 e a OT 13 não apresentaram equivalência entre as demais, apenas entre si, lembrando também que ambas resultaram na menor porcentagem de redução de velocidade. A OT 2 e a 17 também apresentaram poucas equivalências, que correspondem aos mesmos pares.

A distância entre as duas ondulações implantadas em série (OT15 e OT16) é de 85 metros. No ponto médio entre elas, a 40 m da primeira OT, a velocidade média é de 31,16 km/h, valor inferior ao registrado antes da primeira OT. Logo após o ponto médio, a velocidade média aumenta para 34 km/h. Não foi observada uma redução constante de velocidade entre os dispositivos, ou seja, o motorista diminui a velocidade ao passar pelo dispositivo, acelera e reduz novamente para passar pela segunda OT. A distância entre os dispositivos permite essa aceleração.

#### 4.2 Velocidade regulamentada x velocidade de fluxo livre

A velocidade regulamentada na via por meio de sinalização vertical (placa de regulamentação R-19) e as velocidades medidas nos pontos de fluxo livre foram comparadas para verificar se a regulamentação condiciona o comportamento do motorista. O método usado nesta análise consistiu na construção de uma equação para cada par de velocidades (fluxo livre ou de entrada e no dispositivo) em função da distância de medição sendo esta constante para todas as observações. O procedimento foi executado para cada veículo observado, em um total de 60 veículos por ondulação, portanto 60 pares de medição.

Para cada veículo em circulação determinou-se uma função  $V(d) = ad + b$ , onde  $V$  representa a velocidade do veículo em uma determinada distância  $d$  de aproximação do dispositivo. Após a determinação dos coeficientes da equação fixou-se a velocidade  $V$  em 30 km/h, ou 40 km/h, conforme a regulamentação da via, e através da equação de cada veículo obteve-se a distância que o veículo estaria do dispositivo quando trafegando na velocidade máxima regulamentada da via.

Para as OTs situadas em vias com velocidade regulamentada em 40 km/h fixou-se este valor na equação de cada veículo e obteve-se a distância ( $d$ ) que este estaria da origem (dispositivo), obtendo-se a coluna 1 da Tabela 4. Fixou-se também ainda para as OTs em vias com 40 km/h de velocidade regulamentada, o valor de 30 km/h, obtendo-se a coluna 2 da Tabela 4. O mesmo cálculo foi feito para as OTs em vias com velocidade regulamentada de 30 km/h, obtendo-se a coluna 3. Calculou-se a média dos 60 valores de distâncias ( $d$ ) calculados para cada OT, obtendo-se um valor médio para cada OT, disposto no final da Tabela 4.

**Tabela 4:** Distância de aproximação em relação à velocidade regulamentada.

Comparação das distâncias de aproximação (d)		
OTs em vias com velocidade de 40 km/h		OTs de 30 km/h
Quando 30 km/h	Quando 40 km/h	d (m)
d (m)	d (m)	18,6
11,9	24,3	14,9
17,7	33,7	18,6
23,3	39,5	16,5
18,2	34,5	14,7
17,1	30,2	9,00
16,7	28,8	19,7
		18,9
		19,9
Média = 17,4	Média = 31,8	Média = 16,7



As velocidades médias de aproximação de todas as OTs em vias de 30 km/h e 40km/h são 37,9km/h e 38,9km/h respectivamente (esses valores não constam na Tabela 4), e as distâncias de aproximação médias (d) com relação ao ponto de origem foram 17,4m e 16,7m respectivamente. Isso mostra que neste caso a velocidade permitida na via não condicionou uma variação considerável no comportamento do motorista, mostrando o pequeno impacto que a velocidade regulamentada apresenta nos dados de velocidades medidos em campo.

A distância de aproximação (d) indica a distância (área) de influência da ondulação transversal, desta maneira para cada ondulação há um impacto diferente na distância de aproximação do motorista. Conforme as características da OT o motorista inicia a diminuição da velocidade em uma distância (d). Portanto verifica-se através dos valores médios que não houve variação considerável da distância de influência entre vias com velocidades regulamentadas diferentes, mostrando assim que o condutor pouco altera a distância que começa a frear pela percepção do dispositivo. Uma aplicação deste conceito seria a determinação da distância mínima entre duas ondulações para se manter a velocidade desejada na via, tal que os veículos trafeguem sob a influência direta das OTs.

#### 4.3 Modelagem

Essa etapa consistiu em relacionar matematicamente a variação da velocidade em função das características geométricas da via e dos dispositivos através de análise de regressão utilizando o *software Minitab*. Primeiramente as correlações entre as velocidades coletadas e as medidas geométricas das ondulações e das vias foram testadas. Assim, compararam-se dados isolados a fim de identificar as variáveis geométricas que, individualmente, mais influenciam a velocidade nos perfis analisados, verificando então o P-valor de cada variável.

Algumas variáveis que influenciam a velocidade não podem ser medidas ou quantificadas, mas apenas qualificadas, denominadas variáveis *dummy*. Neste trabalho foram consideradas duas variáveis *dummy*: interferência de ônibus e pedestres; e largura ótica da via, que representa o estreitamento da via pelo efeito de árvores e a presença de outros elementos verticais. Para essas situações atribui-se o valor 1 à presença do atributo e 0 à sua ausência. Assim, nesse caso, atribuiu-se o valor 1 quando a via apresenta árvores e postes de maneira a diminuir a distância de visibilidade da via, ou quando apresenta influência de pedestres e pontos de ônibus.

As variáveis consideradas na modelagem foram: altura, comprimento da ondulação, largura efetiva da via (largura total menos a faixa de estacionamento), largura ótica, interferência, velocidade regulamentada, velocidade no dispositivo, velocidade de entrada e a diferença entre a velocidade de entrada e a velocidade no dispositivo ( $\Delta V$ ). Como variáveis dependentes foram testadas “ $\Delta V$ ” ou “Velocidade no dispositivo” ( $v_d$ ), e a partir da análise de correlação, foram escolhidas as variáveis que apresentaram um maior coeficiente de correlação referentes a  $\Delta V$  e  $v_d$ . Na modelagem não foram consideradas as ondulações 1,13 e 16, pois os resultados da OT1 e OT13 foram bastante discrepantes em relação às demais, e na OT16 os veículos tiveram influência da ondulação 15 localizada 85 metros antes.

Entre todos os modelos de regressão testados, nenhum apresentou resultado satisfatório para explicar a velocidade no dispositivo, considerando os valores do coeficiente de correlação encontrados para as relações, que foram inferiores a 20%. Um coeficiente de correlação baixo não indica, necessariamente, que a relação entre as variáveis não esteja adequada. Pode refletir alguma inconsistência nos dados utilizados, ou problemas na amostragem. Desta forma, para apontar dentre os modelos desenvolvidos o que melhor explica a relação entre as variáveis selecionadas, foi avaliada a coerência dos sinais dos coeficientes de cada variável incluída no modelo. Desta forma, o modelo que melhor explica a relação entre as variáveis está expresso a seguir:

$$v_d = 20,26 + 0,09(v_e) - 0,11(C_{OT}) - 41,47(AL_{OT}) - 0,64 (L_o)$$

Em que:

- $v_d$  = velocidade no dispositivo;
- $v_e$  = velocidade de entrada (km/h);
- $L_o$  = Largura ótica da via;
- $AL_{OT}$  = Altura da ondulação;
- $C_{OT}$  = Comprimento da ondulação.

O modelo desenvolvido é consistente em relação aos sinais dos coeficientes das respectivas variáveis, porém apresenta um baixo valor de coeficiente de variação explicado pelo modelo, igual a 17,5%, ou seja, significa que 17,5% da variabilidade da velocidade no dispositivo é explicada pelas variáveis preditoras. Entretanto, é importante lembrar que muitas variáveis que afetam os padrões de condução veicular não foram quantificadas. O efeito mais completo é encontrado para as variáveis que descrevem o ambiente da via, mas um efeito muito grande é encontrado em relação ao desempenho do veículo, e expresso em termos de relação potência/massa. Ademais, Wasielewski e Evans (1985) argumentam que a educação, o sexo, o gênero e a idade do condutor devem ser utilizados como variáveis da categoria motorista, já que, por exemplo, para os motoristas idosos, a velocidade média sistematicamente diminui para todos os tipos de rua.

Essas observações são reforçadas por Cupolillo (2006) ao afirmar que a velocidade dos veículos, em vias (ruas ou rodovias), também depende da aptidão dos motoristas, das condições de seus veículos, das características físicas das vias e de seu entorno, das condições do tempo, e da presença de outros veículos. Portanto, a relação entre condições externas e as características padrão de condução é complexa, compreendendo processos psicológicos e mecânicos que, embora longe de ser completamente esclarecida, é provável que não seja linear e envolve *feedback* interno significativo. Assim, para representar o processo de geração de dados com precisão, seria necessário um modelo bastante complexo, envolve a estimativa de muitos parâmetros (Brundell-Freij e Ericsson, 2005).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil, sabe-se que a obediência aos limites estabelecidos para o controle das velocidades obtém-se através da sinalização, dos dispositivos físicos construídos nas vias e da fiscalização eletrônica. Para aprofundar o conhecimento sobre os impactos de ondulações transversais em vias urbanas foi realizado um estudo em vias da região oeste de Belo Horizonte. A partir da coleta de dados de velocidade pontual em 17 vias tratadas com

ondulações transversais obteve-se um conjunto de dados e informações, que após tabuladas e analisadas permitiram chegar a conclusões e recomendações a respeito do uso de ondulações.

O estudo comprovou que a ondulação transversal interfere consideravelmente na velocidade dos veículos, apresentando uma média na redução de velocidade de fluxo livre de aproximadamente 50%, e que esse valor está relacionado às características do dispositivo, da via, e do comportamento do condutor, representado neste trabalho pela velocidade.

Dentre as variáveis disponíveis para o estudo, foram selecionadas aquelas mais significativas para compor um modelo que explique a velocidade na ondulação transversal, isto é, o impacto que esse dispositivo produz na velocidade veicular. Desta forma, o estudo estabeleceu uma relação entre a velocidade no dispositivo e as variáveis preditoras: velocidade de entrada, largura ótica da via, altura e comprimento da ondulação. O modelo desenvolvido não apresentou um coeficiente de correlação alto, porém o modelo é consistente em relação aos sinais dos coeficientes das respectivas variáveis.

Tendo em vista que a redução de velocidade não depende apenas de variáveis numéricas, mas também de outras variáveis que traduzam o comportamento do motorista, muitas vezes difíceis de quantificá-las ou mesmo qualificá-las, como visto anteriormente, sugere-se que trabalhos futuros incluam essas variáveis relativas ao condutor e ao veículo para melhorar o poder de explicação do modelo.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG pela concessão de auxílio para essa pesquisa.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Barbosa, H.M e Moura, M.V. (2008) Ondulações Transversais para controle da velocidade veicular. XXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2008. Rio de Janeiro. p. 941-951.
- Barbosa, H.M., Tight M., e May A. D. (2000) A model of speed profiles for traffic calmed roads. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 34, pp 103-123.
- Brundell-Freij, K e E. Ericsson (2005). Influence of street characteristics, driver category and car performance on urban driving patterns. Traffic Planning, Department of Technology and Society, Lund Institute of Technology, Lund University, Sweden.
- Cupolillo, M. T. A. (2006) Estudo das Medidas Moderadoras do Tráfego para controle da Velocidade e dos Conflitos em Travessias Urbanas. Dissertação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- Esteves, R. (2003) Cenários Urbanos e Traffic Calming. Tese de Doutorado, Universidade Federal Do Rio de Janeiro.
- Evans, L. (2002). Belted and unbelted driver accident involvement rates compared. Department of General Motors Research Laboratories, Warren, Michigan 48090, USA.
- Ewing R. e Brown S.J. (2009) *U.S. Traffic Calming Manual*. American Planning Association. Chicago.
- Garcia, A; Torres, A.; Romero, M. A.; Moreno, A. T. (2010) Evolución de las Velocidades ante Dispositivos Moderadores del Tráfico. XVI PANAM, Lisboa, Portugal.
- IPEA (2003) Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas aglomerações urbanas brasileiras. Portal IPEA / Estudos e pesquisas / Finanças publicas e estudos espaciais. <http://www.ipea.gov.br/default.jsp>
- Raia Jr. A. A. (1999) O uso da técnica Traffic Calming na segurança do trânsito e no incentivo à utilização de transporte sustentável. Anais do 12º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito, Olinda.

- Silva, J., Seco, A., e Bastos Silva, A. (2010). Avaliação do comportamento do condutor face à presença de lombas ou passadeiras elevadas. XVI PANAM, Julho, Lisboa, Portugal.
- Silva, J., Seco, A., e Bastos Silva, A. (2010a). Evaluation of the effects of Road humps on pollution emissions. 12º. WCTR, Lisboa.
- Vieira, H.; Bastos, J.T.; Camargo, K.R.; Valente, A.M. (2007) Tratamento pontual visando à acessibilidade a pólos geradores de viagem através da moderação de tráfego: um estudo de caso – Universidade Federal do Rio Grande; Universidade Federal de Santa Catarina.

---

**Endereço dos autores:**

Cibele Garcia Patrocínio (cibelegracia@yahoo.com.br )  
Flávio Henrique Coelho dos Santos (flaviohenriquecoelho@yahoo.com.br)  
Heloisa Maria Barbosa (heloisa@etg.ufmg.br)

Escola de Engenharia da UFMG  
Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia  
Núcleo de Transportes – NUCLETRANS  
Avenida Antonio Carlos, 6627, Campus Pampulha  
31270-901 – Belo Horizonte.