



IMPACTO DE CURVAS HORIZONTAIS NA VARIAÇÃO DA VELOCIDADE INSTANTÂNEA EM CENÁRIO URBANO

Rafael A. Szeliga¹; Bruno H. S. Chaves²; Jorge T. Bastos³

^{1,2,3} Universidade Federal do Paraná, rafaelsz@ufpr.br; brunochaves@ufpr.br; jtbastos@ufpr.br

RESUMO

O excesso de velocidade aumenta a distância de percepção, reação e frenagem, diminuindo, por consequência, o tempo disponível para uma tomada de decisão em situações críticas. Do ponto de vista do agravamento de um acidente, um pedestre tem um risco de morte superior a 80% quando atingido por um veículo transitando a 50 km/h, ao passo que, quando atingido por um veículo a 30 km/h, essa probabilidade cai a menos de 20%. Estudos Naturalísticos de Direção são baseados no monitoramento de condutores por meio de veículos equipados com câmeras e aparelhos receptores GPS com o objetivo de estudar o comportamento no trânsito. Como parte de um Estudo Naturalístico de Direção conduzido na cidade de Curitiba, o presente trabalho tem por objetivo investigar a relação entre a velocidade de conversão de veículos de passeio e a geometria de interseções urbanas com vistas a melhorar o entendimento do conflito entre pedestres e veículos. Foi estabelecido um recorte no estudo para curvas com deflexão de 90°. Como resultados é apresentada a análise de 486 curvas. Os testes estatísticos indicam diferenças significativas entre as velocidades antes e durante a curva e entre as velocidades durante e depois da curva, sendo as velocidades durante a curva mais reduzidas.

PALAVRAS-CHAVE: Estudos Naturalísticos de Direção, segurança viária, interseções urbanas, velocidade.

1. INTRODUÇÃO

O excesso de velocidade aumenta a distância de percepção, reação e frenagem, diminuindo, por consequência, o tempo disponível para uma tomada de decisão em situações críticas (OPAS, 2012). Além disso, velocidades mais elevadas também demandam maior espaço para manobras de conversão, pois o principal fator que influencia no raio de uma curva é a velocidade de projeto da via (TRIPP, 2012). Do ponto de vista do agravamento de um acidente, um pedestre tem uma chance muito grande (superior a 80%) de sofrer uma lesão fatal quando atingido por um veículo a 50 km/h, ao passo que, quando atingido por um veículo a 30 km/h, essa probabilidade de lesão fatal é menor que 20% (OPAS, 2012; WRI Brasil, 2015).

Do ponto de vista do excesso de velocidade, Ellison e Greaves (2015) apontam para resultados de que um condutor economiza apenas cerca de 2 minutos por semana ao exceder o limite de velocidade em meio urbano. Diante desse cenário, em diversos países são praticadas técnicas de *traffic calming* ou no seu termo em português, moderação de tráfego, que podem ser entendidas, segundo Esteves (2003), como um conjunto técnicas para reduzir



os efeitos negativos do trânsito e criar um ambiente seguro para pedestres. Nesse contexto de investigação do comportamento do condutor, conforme apontam Carsten et al. (2013), Estudos Naturalísticos de Direção são utilizados para monitorar o comportamento de condutores ao permitir que eles dirijam por seus itinerários habituais.

Conforme apontado por Bastos et al. (2020), no ano de 2019 foi conduzida no Brasil uma iniciativa inédita de realizar um Estudo Naturalístico de Segurança Viária com base nas experiências internacionais já realizadas, equipando veículos e condutores com câmeras e receptores GPS, de forma a monitorar o trajeto, velocidades e ambiente viário no qual os carros estavam inseridos. Resultados a respeito do uso do telefone celular ao volante já foram publicados em Bastos et al. (2020). Tal metodologia de estudo se justifica mediante uma falta de pesquisas de campo pretéritas que envolvam o condutor brasileiro dentro de uma situação real de trânsito onde se analisam variáveis como as velocidades praticadas e suas relação com outros condutores e o ambiente ao seu redor, identificando ações que possam contribuir para a segurança viária.

Dentro das possibilidades que se apresentam da coleta de dados de um estudo naturalístico, optou-se neste documento por investigar a relação da geometria de interseções urbanas com a velocidade praticada por veículos de passeio na cidade de Curitiba. Esta escolha se justifica por serem os cruzamentos naturalmente pontos potenciais de travessias de pedestres e onde pode-se verificar, portanto, o conflito entre usuários motorizados e não motorizados.

O objetivo desse estudo é analisar a variação da velocidade em curvas horizontais em ambiente urbano levando em consideração as velocidades praticadas antes, durante e após as curvas. Para isso, é necessário verificar se as velocidades pré e pós curva apresentam diferenças significativas a ponto de aprofundar esses estudos. Espera-se, dessa forma, que o assunto contribua para ponderações críticas das diretrizes de interseções urbanas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Como referência de projeto conduzido, van Nes et al. (2019) trazem a experiência europeia do UDRIVE, um estudo naturalístico envolvendo condutores de veículos de passeio, motocicletas e caminhões de vários países da União Europeia. A forma de aquisição de dados desses estudos envolve a instalação de câmeras internas nos veículos que

monitoram o condutor, suas ações no ato de dirigir e o ambiente ao redor do condutor, além de um receptor de sinal GPS que grava dados de localização.

Os projetos de Estudos Naturalísticos podem apresentar diferentes abordagens, como por exemplo os testes conduzidos nos EUA (SHRP2), em que há um maior número de participantes, porém, monitorando menos aspectos que o UDRIVE (VAN NES et al., 2019; SCHNEIDERER et al., 2017). Van Nes et al. (2019) apontam que os estudos naturalísticos de direção permitem aos pesquisadores observar e analisar as relações entre condutores, veículos e via em situações variadas incluindo elementos pré-acidentes que podem contribuir para um maior entendimento das variáveis envolvidas nessas eventualidades. De forma similar aos Estudos Naturalísticos, Wang (2006) abordou a relação analítica entre geometria de vias urbanas e o desenvolvimento da velocidade em corredores em linha reta e trechos em curva a partir de veículos equipados com rastreadores GPS.

O erro do condutor, pode ocorrer por diversos fatores como pouca habilidade do condutor, deficiência do projeto viário, além de excesso ou acúmulo de informações na via (DNIT, 2010). Nesse caso, de acordo com van Nes et al. (2019), os Estudos Naturalísticos permitem que toda essa gama de fatores venha a ser, em certo grau, avaliada, pois conta-se com a localização espacial dos veículos com dados de velocidade, data e horário do deslocamento, além do registro em vídeo dos trajetos, podendo ser posteriormente complementados por análises espaciais considerando as características do entorno.

3. METODOLOGIA

Os veículos dos participantes do estudo foram instrumentados com equipamentos de monitoramento compostos por câmeras, para registro do ambiente externo ao condutor e interno do veículo, e receptores GPS para registro das velocidades instantâneas e posições ao longo dos trajetos. Foram recrutados oito condutores, cada um conduzindo por aproximadamente duas semanas. Os dados coletados receberam um tratamento prévio como eliminação de tempos inválidos de viagem. Posteriormente receberam tratamento no software de análises espaciais QGIS®. As viagens de cada um dos condutores foram separadas e analisadas individualmente sobre uma base viária construída combinando dados disponibilizados pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC) com dados obtidos a partir de uma base *OpenStreetMap*. Adicionalmente, foi obtida a localização

dos semáforos instalados em Curitiba a partir dos dados disponibilizados pelo IPPUC (IPPUC, 2020; OSM, 2020).

De posse dos eixos do sistema viário da cidade de Curitiba, foi gerado no software QGIS® um *buffer* de 10 m em torno do eixo para representar a caixa da rua e acomodar os pontos obtidos das viagens. Tal medida se faz necessária para eliminar pontos que eventualmente se apresentem muito fora do ordenamento viário e não permitam fazer análises, conforme ilustrado na Figura 1a. Assim é possível ilustrar uma das viagens analisadas em que todos os pontos presentes são pontos válidos na Figura 1b.



Figura 1a – Viagem com pontos descartados
Fonte: Os autores (2020)



Figura 1b – Viagem com pontos aproveitados
Fonte: Os autores (2020)

Cada ponto do trajeto representa um segundo de informação coletada pelo sistema de GPS instalado no veículo, que traz informações como a localização geográfica, horário, velocidade instantânea, entre outras informações. Desta forma cada ponto da viagem recebe uma informação de “Tempo Acumulado” onde os segundos são contados em ordem crescente, ordenando assim os pontos. As viagens de cada um dos condutores foram analisadas sob o ponto de vista das curvas horizontais realizadas. Em um primeiro momento, baseado em inspeção visual, foram selecionadas as conversões com deflexões de 90°, tanto à direita quanto à esquerda, conforme ilustrado na Figura 2a. Como o objetivo é verificar a relação entre a geometria da interseção e velocidade praticada pelos veículos, alguns critérios foram elencados para incluir apenas curvas que fossem representativas de um trajeto contínuo e fluido. Foi considerada uma distância de 50 m antes e 50 m após a curva para acompanhar o desenvolvimento da velocidade do veículo, conforme indicado na Figura 2a, onde os pontos 50 m antes e depois da curva estão destacados (em azul) além dos pontos de início e fim da curva (em vermelho). Convém ressaltar que os pontos de inflexão (pontos de

curva e de tangente) são aqueles praticados pelos motoristas, conforme é identificada visualmente a mudança de direção e não são, necessariamente, os pontos de curva e tangente da geometria da via projetada.

Também baseado primeiramente em inspeção visual, foram eliminadas as curvas que apresentavam sinais de congestionamento ou de veículo parado em função de semáforo vermelho ou ainda espera para conversão em via preferencial. Essa condição é dada pelo acúmulo de pontos muito próximos uns dos outros, quando não sobrepostos, o que identifica que o veículo está parado ou se deslocando com velocidade próxima de zero, conforme ilustrado na Figura 2b. Esses trechos, caso considerados, acabariam por comprometer um estudo que leva em conta a desaceleração para efetuar uma curva e posterior recuperação da velocidade pós-curva.

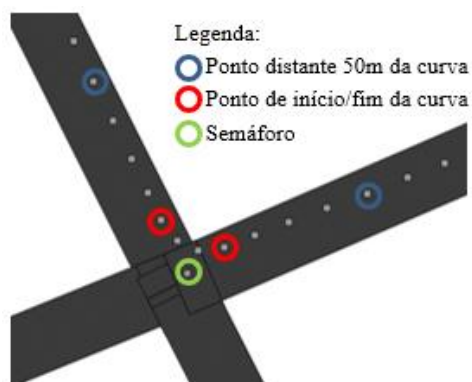


Figura 2a – Curva considerada para análises
Fonte: Os autores (2020)

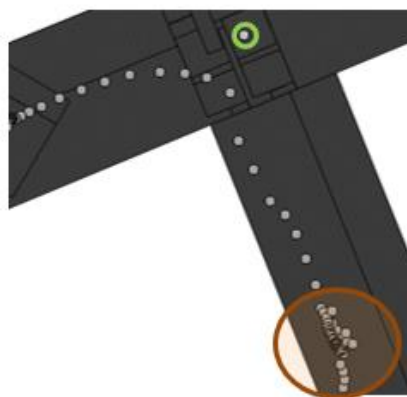


Figura 2b – Curva desconsiderada para análises
Fonte: Os autores (2020)

3.1. Análises nas Planilhas

Nas planilhas que deram origem às viagens é possível identificar o condutor, o número da viagem registrada para aquele condutor, bem como as informações de tempo acumulado da viagem (coluna “TIME_ACUM”), além da velocidade e o azimuth correspondente a cada ponto registrado. As informações da coluna “TIME_ACUM” trazem o registro sequencial do tempo com incrementos de um segundo a cada ponto.

No exemplo da Figura 3a, está ilustrada uma curva da viagem 6 do condutor C (viagem C6). O ponto 1061s é o ponto distante 50 m da curva, o tempo 1067s corresponde ao início da curva, 1070s quando o veículo entra novamente no alinhamento em tangente e o tempo 1076s marca os 50 m finais depois da curva. Foram criadas a coluna AA, que contém a



diferença entre o azimute (coluna “HEADING”) do instante atual com o instante superior, para definição dos pontos de início e fim das curvas; e a coluna AB “Vel. Rel.”, que apresenta a diferença relativa de velocidade ao longo do trecho. Nesse caso, a velocidade parte de 38,79 km/h no ponto 50 m antes da curva, diminui ao longo da curva e volta a aumentar no trecho em retilíneo após a curva. O gráfico de velocidade em função do tempo é apresentado na Figura 3b, com indicação dos pontos notáveis PC e PT.

	A	B	O	Q	R	AA	AB	AC
1	DRIVER	TRIP_ANDTIME_ACUM	SPD_KMH	HEADING	Dif. Heading	Vel. Rel.		
1062	C		1060	38,95	290,10	0,40		
1063	C	C6	1061	38,79	290,60	0,50	100,00%	P5
1064	C	C6	1062	37,82	290,80	0,20	97,51%	
1065	C	C6	1063	36,21	290,30	-0,50	93,36%	
1066	C	C6	1064	34,44	290,50	0,20	88,80%	
1067	C	C6	1065	31,70	292,00	1,50	81,74%	
1068	C	C6	1066	28,32	291,50	-0,50	73,03%	
1069	C	C6	1067	25,11	288,50	-3,00	64,73%	PC
1070	C	C6	1068	21,57	275,20	-13,30	55,60%	
1071	C	C6	1069	21,08	251,30	-23,90	54,36%	
1072	C	C6	1070	21,89	211,20	-40,10	56,43%	PT
1073	C	C6	1071	24,78	202,20	-9,00	63,90%	
1074	C	C6	1072	27,84	200,80	-1,40	71,78%	
1075	C	C6	1073	29,93	200,40	-0,40	77,18%	
1076	C	C6	1074	31,22	199,90	-0,50	80,50%	
1077	C	C6	1075	31,86	200,20	0,30	82,16%	
1078	C	C6	1076	31,22	200,10	-0,10	80,50%	P6
1079	C		1077	28,32	200,70	0,60		

Figura 3a – Planilha de curva com informações analíticas

Fonte: Os autores (2020)

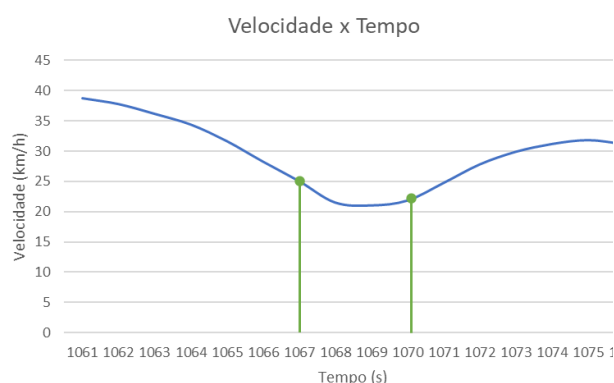


Figura 3b – Perfil de Velocidade em função do tempo para curva individual

Fonte: Os autores (2020)

4. RESULTADOS

Como resultado, levando em conta todas as viagens dos condutores e situações que observavam as condições impostas, foram analisadas 486 curvas. A Tabela 1 apresenta esse conjunto de dados com velocidades antes da curva, durante a curva e após a curva (velocidades em km/h).

Tabela 1 – Estatísticas descritivas de velocidades nas curvas

Trecho	N	Média	Desv.Pad.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Antes da Curva	486	36,72	7,94	14,11	31,60	37,18	41,96	62,44
Durante a Curva	486	23,06	5,81	8,63	19,15	22,51	26,74	50,90
Após a Curva	486	37,31	8,37	11,10	32,33	37,55	42,55	67,75

Fonte: os autores (2020)

A velocidade média antes da curva apresentou valor de 36,72 km/h ($dp = 7,94$ km/h), durante a curva verificou-se a velocidade média de 23,06 km/h ($dp = 5,81$ km/h) e por fim, nos trechos após a curva foram observadas velocidades médias de 37,31 km/h ($dp = 8,37$



km/h). Por meio da aplicação do teste estatístico não paramétrico de Mann-Whitney para um intervalo de confiança de 95% verificou que as velocidades praticadas durante a curva são estatisticamente inferiores quando comparadas com as velocidades anteriores à curva ($W = 333.878,5$, $p < 0,005$). Da mesma forma, as velocidades após a curva são estatisticamente superiores quando comparadas com as velocidades durante a curva ($W = 137.963,5$, $p < 0,005$).

5. CONCLUSÕES

Os testes estatísticos indicam diferenças significativas entre as velocidades antes e durante a curva e entre as velocidades durante e depois da curva, sendo as velocidades durante a curva mais reduzidas. A partir deste resultado parcial, pode-se investigar em maior profundidade outras características, pois os resultados obtidos são restritos a conversões em interseções de 90°. Diante disso novas configurações de geometrias devem ser testadas. Em complemento, para além do ângulo de deflexão, outros parâmetros capazes de influenciar a escolha da velocidade durante a conversão podem ser melhor investigados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento obtido na Chamada MCTIC/CNPq Nº 28/2018 - Universal/Faixa A - Até R\$ 30.000,00 e ao Observatório Nacional de Segurança Viária.

REFERÊNCIAS

BASTOS, J. T.; DOS SANTOS, P. A. B.; AMANCIO, E. C.; et al. Naturalistic driving study in Brazil: An analysis of mobile phone use behavior while driving. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 17, p. 1–14, 2020.

CARSTEN, O.; KIRCHER, K.; JAMSON, S. Vehicle-based studies of driving in the real world: The hard truth? **Accident Analysis and Prevention**, v. 58, p. 162–174, 2013. Elsevier Ltd. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2013.06.006>. Acesso em: 1 set. 2020

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias**. Publicação IPR – 174. Rio de Janeiro, 2010.

ESTEVES, R. **Cenários Urbanos e Traffic Calming**. Tese de doutorado, v. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 2003.



IPPUC (org.). IPPUC: dados geográficos. Dados Geográficos. 2019. Disponível em: <https://ippuc.org.br/geodownloads/geo.htm>. Acesso em: 16 mar. 2020

OPAS - Organização Pan-Americana da Saúde. **Gestão da velocidade: um manual de segurança viária para gestores e profissionais da área**. Brasília, DF: 2012

OPENSTREETMAP (org.). OpenStreetMap. Disponível em: <https://www.openstreetmap.org>. Acesso em: 16 mar. 2020.

SCHNEIDERERIT, T.; PETZOLDT, T.; KEINATH, A.; KREMS, J. F. Using SHRP 2 naturalistic driving data to assess drivers' speed choice while being engaged in different secondary tasks. **Journal of Safety Research**, v. 62, p. 33–42, 2017. National Safety Council and Elsevier Ltd. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsr.2017.04.004>. Acesso em: 1 set. 2020

TRIPP - Transportation Research and Injury Prevention Programme. **Code of Practice (Part -1) Cross Section**. Ministry of Urban Development. Índia, 2012.

VAN NES, N.; BÄRGMAN, J.; CHRISTOPH, M.; VAN SCHAGEN, I. The potential of naturalistic driving for in-depth understanding of driver behavior: UDRIVE results and beyond. **Safety Science**, v. 119, n. December, p. 11–20, 2019. Elsevier. Disponível em: [.](#) Acesso em: 1 set. 2020

WANG, Jun. **Operating Speed Models For Low Speed Urban Environments Based On In-Vehicle Gps Data**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Georgia Institute of Technology, 2006. Disponível em: https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/10508/wang_jun_200605_phd.pdf. Acesso em: 1 set. 2020.