



## **IDENTIFICAÇÃO DE FATORES DETERMINANTES PARA FRENAGENS MODERADAS E GRAVES A PARTIR DE DADOS NATURALÍSTICOS DE DIREÇÃO**

*Pedro Henrique Pereira Bosio Franczak<sup>1</sup>; Laura Nizer Gapski Pereira<sup>2</sup>; Eduardo Cesar Amancio<sup>3</sup>; Jorge Tiago Bastos<sup>4</sup>*

*<sup>1,2</sup> Departamento de Transportes, Universidade Federal do Paraná, pedrofranzak@ufpr.br, lauranizer@ufpr.br.*

*<sup>3</sup> Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba, eamancio@ippuc.org.br*

*<sup>4</sup> Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano, Universidade Federal do Paraná, jtbastos@ufpr.br*

### **RESUMO**

Entre as principais causas de exposição ao risco para a sinistros de trânsito estão as manobras bruscas por parte dos condutores, e o entendimento dos fatores determinantes para a ocorrência dessas é fundamental para o planejamento de ações preventivas e de intervenções no sistema viário. O objetivo da presente pesquisa foi avaliar a influência de fatores determinantes na ocorrência de manobras de frenagens, visto que essas podem estar diretamente ligadas à momentos de risco e sinistros. A metodologia utilizada foi baseada em um estudo de condução naturalística, em que condutores de Curitiba (PR) foram selecionados e seus veículos foram instrumentados e monitorados quanto à posição, à velocidade praticada a cada segundo e quanto à ocorrência de manobras bruscas. De modo a identificar os fatores determinantes foram estabelecidos critérios de verificação de fatores humanos, veiculares, viários e ambientais e a presença desses em coincidência com manobras bruscas foi registrada por meio de análises das imagens registradas pelas câmeras instaladas nos veículos. Os resultados obtidos indicam como o principal fator determinante para a ocorrência de frenagens a presença de cruzamentos. As manobras bruscas estiveram, também, diretamente ligadas ao excesso de velocidade, sendo esta observada diversas vezes imediatamente antes das frenagens.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estudo naturalístico de trânsito, manobras bruscas, frenagens.

### **ABSTRACT**

*Among the main causes of risk exposure to traffic crashes are abrupt maneuvers made by the drivers, the understanding of the key-factors of these occurrences is of fundamental importance for the planning of preventive actions and interventions in the traffic system. The objective of the current research is the evaluate the key-factors in the occurrence of braking maneuvers, being that these can be directly related to moments of risk and eventual crashes. The methodology used was based in a naturalistic driving study, in which drivers from Curitiba (PR) were selected and their car were equipped and monitored, registering information as location, second-by-second speed and the occurrence of abrupt maneuvers. To identify the key-factors, verification criteria were established to observe human, vehicular, road and environmental factors and the presence of those with the abrupt maneuvers was*



*registered through analysis of the images captured by the cameras installed in the vehicles. The results suggest as the main key-factor to the occurrence of breaking maneuvers, the presence of crossings. The abrupt maneuvers were also directly connected to speeding, observed in many cases immediately before the breaking maneuvers.*

**KEYWORDS:** *naturalistic driving study, sudden maneuvers, breaking.*

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, no ano de 2020, o número de mortes em sinistros de trânsito foi de 32.716 (Brasil, 2021). Segundo estimativas do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2020), os custos sociais dos sinistros de trânsito no Brasil ultrapassam os 50 bilhões de reais, considerando tanto as ocorrências em rodovias quanto em áreas urbanas. A literatura especializada tradicionalmente classifica os fatores associados aos sinistros de trânsito em três domínios: humano (comportamental), viário/ambiental e veicular (Ferraz et al., 2012).

Os Estudos Naturalísticos de Direção (Naturalistic Driving Studies – NDS) podem ser conceituados como investigações conduzidas a fim de verificar o comportamento dos condutores durante a sua rotina de condução, com monitoramento do interior do veículo e do ambiente de condução, sem nenhum tipo de controle experimental (van Nes et al., 2019). Desde os anos 2000, os NDS têm sido conduzidos internacionalmente, incluindo as iniciativas nos Estados Unidos (Neale et al., 2005; Njord & Steudle, 2015) na União Europeia (van Nes et al., 2019), no Canadá (CNDS, 2021; Marshall et al., 2013), na Austrália (ANDS, 2017; Larue et al., 2018), na China (Zhu et al., 2018), no Japão (Uchida et al., 2010) e no Irã (Sheykhfard et al., 2021). A fim de reproduzir um NDS em um cenário de país de baixa e média renda, foi desenvolvido o primeiro estudo naturalístico de direção brasileiro, o Brazilian Naturalistic Driving Study (NDS-BR).

O objetivo da presente pesquisa é identificar fatores determinantes para a ocorrência de manobras de frenagem a partir de um estudo naturalístico de direção. As manobras foram classificadas nas categorias moderada e grave. O cenário do estudo foi a cidade de Curitiba e Região Metropolitana. A pesquisa justifica-se devido ao fato de que no Brasil, os estudos sobre comportamento dos condutores e sua relação com o ambiente viário têm se limitado à aplicação de questionários (Brasil, 2019; Ilias et al., 2012), os quais estão sujeitos ao viés da memória do respondente e da resposta socialmente aceitável (Dozza et al., 2015). Adicionalmente, os estudos com simuladores de direção ainda apresentam o desafio



relacionado ao realismo da experiência de condução (Larocca et al., 2018; Lucas et al., 2013; Santos et al., 2017).

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O estudo naturalístico é uma abordagem de pesquisa não intrusiva que consiste na instrumentação dos veículos dos participantes com câmeras, equipamentos de GPS e sensores de velocidade para gravação do comportamento do condutor em tempo real. Esse método de pesquisa permite uma coleta mais precisa com dados mais próximos da realidade se comparados a pesquisas em ambientes de simulação (WANG E XU, 2019). Um estudo baseado na coleta de dados naturalísticos (Seacrist et al., 2019) analisou situações de risco de condutores norte-americanos bem como as manobras evasivas usadas para evitar acidentes. Segundo Seacrist et al. (2019), condutores jovens (entre 16 e 24 anos) estiveram mais propensos a situações de risco por engajarem mais frequentemente com atividades secundárias durante a condução.

Em outro estudo naturalístico, Kamla et al. (2019) concluiu que condutores que se expõem a mais situações de risco apresentaram maior chance de envolvimento em sinistros. Empregando metodologia semelhante aos NDS, Yu et al. (2021) abordou manobras evasivas relacionadas ao comportamento dos condutores aliado à um sistema de assistência à direção que os alertava quando detectava situações de risco. Não foram identificadas mudanças significativas no comportamento dos participantes com o uso desses equipamentos.

Ali et al. (2021) utilizam de dados do estudo naturalístico norte-americano SHRP2 para quantificar os efeitos da via, perfil do condutor, veículo e local na frequência de acelerações e frenagens bruscas. Os resultados apontam que a velocidade limite na via foi o principal fator que influencia na ocorrência de acelerações e desaceleração, sendo essas observadas com maior frequência e em maior gravidade em vias com menor velocidade permitida. Outro fator observado como determinante na frequência de acelerações e frenagens bruscas foi a idade do condutor, sendo participantes jovens mais propensos a exercer mudanças de velocidade bruscas com maior frequência.

Sarkar et al. (2021) também utilizou de dados obtidos pelo estudo SHRP2 com o objetivo de compreender o comportamento dos condutores em momentos de risco de colisão, analisando frenagens e desvios realizados como manobras evasivas. Os resultados obtidos

por esse estudo se alinham com Ali et al. (2021) ao apontarem o limite de velocidade da via e o perfil do condutor como fatores determinantes para a ocorrência e intensidade das frenagens e desvios. Além desses, outro fator observado frequentemente nos momentos que antecederam as situações de risco foi a distração do condutor, com destaque para o uso de telefone celular.

### 3. METODOLOGIA

Uma representação dos equipamentos utilizados na plataforma de coleta de dados naturalísticos (PCDN) pode ser visualizada na Figura 1. Além da instrumentação básica do NDS-BR, os veículos dos participantes foram equipados com um rastreador Mobi7 instalado junto à porta diagnóstica (OBD) do veículo, a fim de detectar as seguintes situações: manobras de aceleração, manobras de frenagem e desvios. Tais situações (identificadas pelo rastreador como ofensas) foram registradas em uma plataforma de consulta<sup>1</sup> da empresa desenvolvedora do rastreador segundo o horário de ocorrência (hh:mm:ss), endereço de ocorrência (logradouro e número) e a classificação da gravidade da ofensa (moderada ou grave).

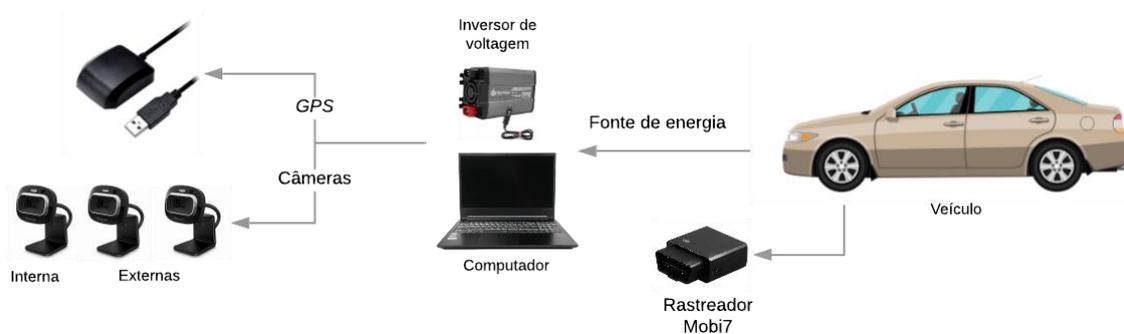


Figura 1 – Representação esquemática da PCDN

As câmeras 1 e 2 foram orientadas para a frente externa do veículo, uma à esquerda e outra à direita, respectivamente. A câmera 3, voltada para o condutor, foi dedicada a capturar as interações do condutor com o volante, com o câmbio e com o painel do veículo, bem como o engajamento em tarefas secundárias à condução (ver Figura 2). A coleta de imagens das câmeras e coordenadas geográficas foi realizada de forma sincronizada.

<sup>1</sup> Disponível no endereço eletrônico <https://plataforma.mobi7.io/login.html#!/>.



Figura 2 – Imagens gravadas pelas câmeras

FONTE: Borguezani et al. (2020).

Entre os meses de julho e dezembro de 2021 foi possível coletar dados de 16 condutores e 449 viagens, incluindo 144 horas de condução e 3.849 km de distância percorrida na cidade de Curitiba - Paraná, Brasil, e sua região metropolitana. Os condutores foram monitorados durante duas semanas. O tempo total válido de viagem foi de 95,74 h, sendo 85,28% dele percorrido em Curitiba, 4,33% em São José dos Pinhais, 2,73% em Pinhais e o restante em outros municípios da Região Metropolitana (como Fazenda Rio Grande e Colombo, por exemplo).

### 3.1. Análise de ofensas

A fim de identificar os fatores determinantes para a ocorrência das manobras de aceleração, frenagem e desvios, foi estabelecido um conjunto de verificações a partir das imagens das câmeras interna e externas incluindo fatores humanos, veiculares, viários e ambientais. As verificações foram organizadas de acordo com o esquema da Figura 3.

Para a detecção dos fatores in-vehicle (dentro do veículo) foi feita a conferência usando as imagens capturadas pela câmera interna ao veículo, cujo campo de visão inclui o condutor e o painel do veículo. Para a detecção dos fatores relacionados ao ambiente de condução, foram utilizadas as câmeras com o campo de visão externo ao veículo. Para a detecção dos fatores relacionados às condições da viagem também foram utilizadas as câmeras com campo de visão externo ao veículo. Com o objetivo de tornar a identificação de fatores determinantes um procedimento uniforme, foram estabelecidos tanto um critério de identificação quanto um padrão de registro para cada fator determinante investigado. Um exemplo de tais informações pode ser visualizado na Tabela 1 para os fatores relacionados ao sistema viário.

Classificação dos fatores determinantes para a ocorrência de frenagens, acelerações e desvios

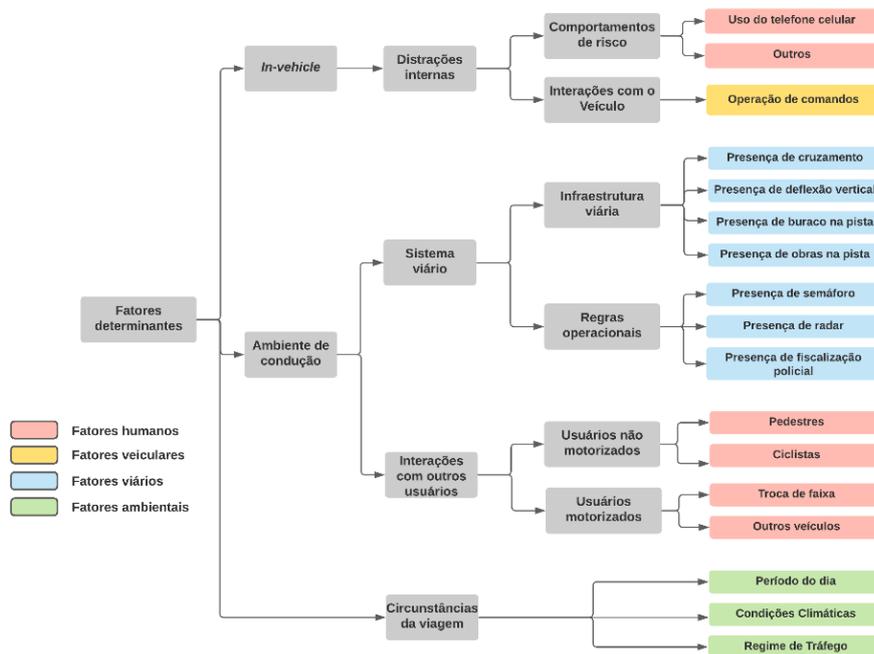


Figura 3 – Classificação dos fatores determinantes para a ocorrência de frenagens

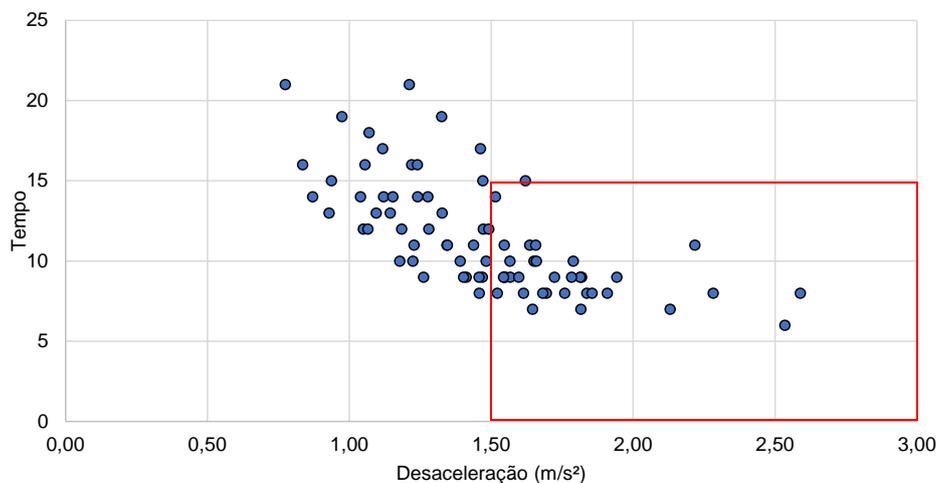
Tabela 1 – Critérios de identificação: sistema viário

Classificação dos fatores do sistema viário	Fator determinante	Critério de identificação	Padrão de registro
Infraestrutura viária	Presença de cruzamento	Ofensa ocorrida imediatamente antes da interação com o cruzamento, seja na sua aproximação ou resultante da sua dinâmica de operação (por exemplo, em decorrência de longa fila de veículos).	Sim ou Não
Infraestrutura viária	Presença de deflexão vertical	Frenagem ocorrida imediatamente antes da deflexão vertical, seja na sua aproximação ou resultante da sua dinâmica de operação	Sim ou Não
Infraestrutura viária	Presença de buraco na pista	Frenagem ocorrida imediatamente antes da localização de um buraco.	Sim ou Não
Infraestrutura viária	Presença de obras na pista	Ofensa ocorrida imediatamente antes da passagem por zona de obra.	Sim ou Não
Regras operacionais	Presença de semáforo	Ofensa ocorrida imediatamente antes da interação com o cruzamento semaforizado, seja na sua aproximação ou resultante da sua dinâmica de operação (por exemplo, em decorrência de longa fila de veículos).	Sim ou Não
Regras operacionais	Presença de radar	Ofensa ocorrida imediatamente antes da passagem pelo radar	Sim ou Não
Regras operacionais	Presença de fiscalização policial	Ofensa ocorre imediatamente antes da passagem por fiscalização policial.	Sim ou Não

Nesse levantamento, foram detectadas um total 212 frenagens críticas distribuídas entre os 16 condutores monitorados. No entanto nem todas as ofensas observadas puderam ser consideradas válidas, uma parcela dessas ocorreu em momentos nos quais houve falhas nos registros por parte das câmeras ou do rastreador que impossibilitaram o levantamento dos fatores determinantes nas ocorrências das ofensas.

Foi observado o perfil de desaceleração de todas as frenagens críticas em vias com velocidade máxima permitida a partir de 40 km/h para melhor determinar a intensidade das ofensas. Determinou-se que as frenagens acima da média, ou seja, com desaceleração igual ou superior a  $1,50 \text{ m/s}^2$  e que ocorreram em um intervalo de tempo igual ou inferior a 15 s fossem consideradas graves, enquanto as demais foram consideradas moderadas. Com isso, foram obtidas 43 frenagens críticas moderadas e 34 frenagens críticas graves. As características de cada frenagem (duração e intensidade) podem ser observadas na Figura 4.

Figura 4 – Distribuição dos perfis de desaceleração crítica



#### 4. RESULTADOS

Foram observadas 77 frenagens críticas e registrados os fatores determinantes relacionados a cada uma delas. Dentre essas, 7 frenagens moderadas e 6 frenagens graves ocorreram sem a presença de qualquer fator determinante e não foram consideradas nessas análises. A listagem completa se dá conforme a Figura 5.

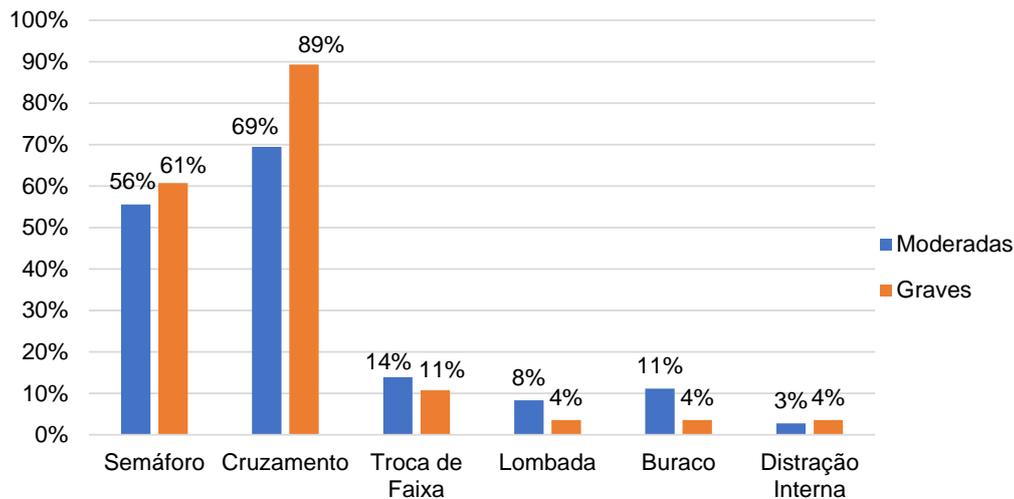


Figura 5 – Distribuição dos fatores determinantes associados a frenagens críticas

Tanto as frenagens críticas moderadas quanto as graves tiveram como fator determinante mais frequentemente identificado a presença de cruzamento, tendo 69,44% das ofensas moderadas e 89,29% das ofensas graves relacionadas à interações com cruzamentos e suas dinâmicas de operação. Os demais fatores observados, em ordem decrescente de ocorrência, foram presença de semáforo (55,56% para moderadas e 60,71% para graves), troca de faixa (13,89% para moderadas e 10,71% para graves), presença de buraco na pista (11,11% para moderadas e 3,57% para graves), presença de deflexão vertical (8,33% para moderadas e 3,57% para graves), distração interna (2,78% para moderadas e 3,57% para graves). Visto que uma ofensa pode ocorrer com a presença de mais de um fator determinante, ou com ausência desses fatores, a soma das porcentagens das ocorrências dos fatores pode não resultar em 100%. Ainda houve ofensas que não foram relacionadas a fator algum, o que representa 16,88% dos casos.

Os fatores determinantes relacionados à circunstância da viagem, diferentemente dos demais fatores levantados, aplicam-se a todas as ofensas, visto que é possível classificá-las conforme período do dia, regime de tráfego e condição climática em que ocorreram. Tanto para frenagens moderadas quanto para graves, mais ofensas foram registradas durante o dia (81,40% para moderadas e 94,12% para graves) do que à noite (18,60% para moderadas e 5,88% para graves). A partir do teste estatístico Qui-Quadrado, verificou-se que não houve relação estatisticamente significativa para o nível de confiança de 95% –  $\chi^2(1, N = 77) = 2,72, p = 0,099$  – entre a gravidade da frenagem e o período do dia.



Uma proporção similar de ofensas ocorreu com tempo limpo e nublado (48,84% para moderadas e 41,18% para graves), superior às ocorrências com tempo chuvoso (2,33% para moderadas e 17,65% para graves). O teste estatístico Qui-Quadrado permitiu verificar que não houve relação estatisticamente significativa para o nível de confiança de 95% –  $\chi^2(1, N = 77) = 5,393, p = 0,067$  – entre a gravidade da frenagem e a condição do tempo.

Nas frenagens críticas moderadas, o regime de tráfego predominante nos momentos em que houve ofensas foi o fluxo livre (58,14%) seguido de condicionado (41,86%). Para as frenagens graves, mais ofensas ocorreram com fluxo de tráfego condicionado (52,94%) seguido de fluxo livre (47,06%). No entanto, o teste estatístico Qui-Quadrado indicou que não houve relação estatisticamente significativa para o nível de confiança de 95% –  $\chi^2(1, N = 77) = 0,936, p = 0,333$  – entre a gravidade da frenagem e o regime de tráfego.

Adicionalmente, a associação da ocorrência das ofensas com a informação a respeito da velocidade praticada permitiu identificar as situações em que houve a combinação da ofensa com a prática do excesso de velocidade. As 77 frenagens críticas analisadas ocorreram em vias onde foi possível observar o limite de velocidade da via a partir da base georreferenciada do sistema viário adotada. Para esse levantamento, foi considerado um período de até 15 segundos antes de cada ofensa para o registro de excesso de velocidade. Dessa forma, tem-se que 83,72% das frenagens moderadas e 88,24% das frenagens graves ocorreram em situação de excesso de velocidade.

Foi analisado também a velocidade inicial de cada frenagem crítica, obtendo uma mediana de 56,88 km/h para as frenagens moderadas e 58,68 km/h para as frenagens graves. A partir do teste estatístico Mann-Whitney, verificou-se que não houve diferença estatisticamente significativa para o nível de confiança de 95% –  $W(1, N = 77) = 1416, p = 0,179$  – entre as velocidades iniciais de frenagens moderadas e graves.

## 5. CONCLUSÕES

A partir da investigação dos fatores determinantes para a ocorrência de manobras de frenagem pode-se perceber que a grande maioria deles foi associada a aspectos do ambiente de condução (71 fatores, em comparação com apenas 2 fatores provenientes do veículo conduzido). Isso demonstrou que a ocorrência de frenagens moderadas e graves esteve muito mais associada à dinâmica de interação com o sistema viário e os demais elementos do



ambiente de condução do que com o ambiente interno ao veículo. Dos 71 fatores determinantes identificados associados ao ambiente de condução, houve uma predominância da participação do sistema viário, com 63 casos, em contraste com apenas 8 fatores determinantes associados a interações com outros usuários. Dentro do sistema viário, o fator determinante predominante foi a presença de cruzamento (semáforizado ou não), identificado em 46 casos. Este resultado reforça o consenso das interseções viárias como locais típicos de conflitos, onde é demandado do condutor uma mais rápida percepção dos demais elementos presentes no trânsito, como o comportamento dos outros condutores. Parte das frenagens observadas, portanto, podem estar diretamente ligadas ao fator humano e aos diferentes padrões de reação de cada condutor nesses locais de conflito. No caso das interseções semáforizadas, ainda que não existam movimentos conflitantes, a necessidade de frenagem e parada a cada mudança de ciclo também favoreceu a ocorrência de manobras de frenagem moderada e grave. Isso conduz à importância do tratamento adequado da infraestrutura nessas áreas, tais como sinalização vertical e horizontal adequadas, boas condições de visibilidade e geometria adequada.

A presença de buracos na pista como fator determinante não pode ser ignorada, o que sugere a necessidade de melhorias nas condições da superfície de rolamento nas vias urbanas. Os resultados confirmaram o excesso de velocidade como um importante fator de risco para a ocorrência de conflitos no trânsito, especialmente em áreas próximas a interseções. A adoção de uma política de gestão da velocidade integrada combinando limites de velocidade seguros, fiscalização eletrônica e desenho viário que estimule a redução de velocidade é capaz de contribuir para a redução desses conflitos e, conseqüentemente, dos sinistros de trânsito. Além dos fatores analisados, outras condições podem ser determinantes para a ocorrência de ofensas, tais como idade, gênero e a forma como cada condutor gerencia os riscos, as condições diferentes de cada um de seus veículos e as diferenças nas rotas e condições gerais das vias em seus trajetos. Tais condições não foram abordadas nesta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ANDS. (2017). ANDS Progress report for May 2017. <http://www.ands.unsw.edu.au/news-events/ands-progress-report-may-2017>



Borguezani, J. R., Santos, P. A. B. dos, Osório, F. dos S., & Bastos, J. T. (2020). Plataforma de coleta de dados naturalísticos de segurança viária. 34º Congresso de Pesquisa e Ensino Em Transporte Da ANPET, 2610–2617.

Brasil. (2019). Vigitel Brasil 2018: Vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquerito telefônico. In G. Estatística e Informação em Saúde. Ministério da Saúde.

[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigitel\\_brasil\\_2011\\_fatores\\_risco\\_doencas\\_cronicas.pdf](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigitel_brasil_2011_fatores_risco_doencas_cronicas.pdf)

Brasil. (2021). Estatísticas do sistema de informações de mortalidade.

CNDS. (2021). Canada Naturalistic Driving Study. <https://www.canada-nds.net/index.html>

Dozza, M., Flannagan, C. A. C., & Sayer, R. (2015). Real-world effects of using a phone while driving on lateral and longitudinal control of vehicles. *Journal of Safety Research*, 55, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2015.09.005>

Ferraz, A. C. P., Raia Junior, A. A., Bezerra, B. S., Bastos, J. T., & Silva, K. C. R. (2012). Segurança viária. Suprema Gráfica e Editora. <https://www.flipssnack.com/observatorio/livro-seguranca-viaria.html>

Ilias, D., Caravatto Baras, F., Crespo, M., Pardo De Alexandre, G., Martinez, J. E., Cristina, V., Santucci, R., Regina, S., & Nascimento, D. (2012). Mobile phone using while driving among young university students. *Rev. Fac. Ciênc. Méd. Sorocaba*, V, 14(3), 123–125. [http://www.arrivealive.vic.gov.au/c\\_youngGLS\\_1.html](http://www.arrivealive.vic.gov.au/c_youngGLS_1.html)

IPEA. (2020). 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. <https://www.ipea.gov.br/atlasviolencia/arquivos/artigos/7018-td2565.pdf>

56–59. Larocca, A. P. C., Ribeiro, R. L., da Cruz Figueira, A., de Oliveira, P. T. M. e S., Lulio, L. C., & Rangel, M. A. C. (2018). Analysis of perception of vertical signaling of highways by drivers in a simulated driving environment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 471–487. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.06.034>

Lucas, F. R., Russo, L. E. A., Kawashima, R. S., Figueira, A. D. C., Larocca, A. P. C., & Kabbach, F. I. (2013). Uso de simuladores de direção aplicado ao projeto de segurança viária. *Boletim de Ciencias Geodesicas*, 19(2), 341–352. <https://doi.org/10.1590/s1982-21702013000200010>

Neale, V. L., Dingus, T. A., Klauer, S. G., Sudweeks, J., & Goodman, M. (2005). An overview of the 100-car Naturalistic Driving Study and findings. [https://dot.alaska.gov/highwaysafety/assets/Occ\\_Prot-cellphone\\_National\\_study-Virginia\\_Tech\\_Transp\\_Institute.pdf](https://dot.alaska.gov/highwaysafety/assets/Occ_Prot-cellphone_National_study-Virginia_Tech_Transp_Institute.pdf)

Santos, M. I. dos, Oliveira, P. T. M. e S. de, Ribeiro, R. L., Larocca, A. P. C., & Kabbach Junior, F. I. (2017). Conceito, configuração e aplicação de um simulador de direção no Brasil – Estudo de caso. *Transportes*, 25(2), 1. <https://doi.org/10.14295/transportes.v25i2.1174>



- Sheykhfard, A., Haghghi, F., Papadimitriou, E., & Van Gelder, P. (2021). Analysis of the occurrence and severity of vehicle-pedestrian conflicts in marked and unmarked crosswalks through naturalistic driving study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 76, 178–192. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2020.11.008>
- Uchida, N., Kawakoshi, M., Tagawa, T., & Mochida, T. (2010). An investigation of factors contributing to major crash types in Japan based on naturalistic driving data. *IATSS Research*, 34(1), 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2010.07.002>
- van Nes, N., Bärghman, J., Christoph, M., & van Schagen, I. (2019). The potential of naturalistic driving for in-depth understanding of driver behavior: UDRIVE results and beyond. *Safety Science*, 119, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.12.029>
- Zhu, M., Wang, X., Tarko, A., & Fang, S. (2018). Modeling car-following behavior on urban expressways in Shanghai: A naturalistic driving study. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 93, 425–445. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.06.009>
- Seacrist, T., Douglas, E.C., Hannan, C., Rogers, R., Belwadi, A. and Loeb, H. (2020). Near crash characteristics among risky drivers using the SHRP2 naturalistic driving study. *Journal of Safety Research*, 73, 263-269. <https://doi.org/10.1016/J.JSR.2020.03.012>
- Yu, B., Bao, S., Chen, Y. and LeBlanc, D.J. (2021). Effects of an integrated collision warning system on risk compensation behavior: An examination under naturalistic driving conditions. *Accident Analysis & Prevention*, 163, 106450. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2021.106450>
- Ali, G., McLaughlin, S., & Ahmadian, M. (2021). Quantifying the effect of roadway, driver, vehicle, and location characteristics on the frequency of longitudinal and lateral accelerations. *Accident Analysis & Prevention*, 161, 106356. <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2019.01.016>
- Sarkar, A., Hickman, J. S., McDonald, A. D., Huang, W., Vogelpohl, T., & Markkula, G. (2021). Steering or braking avoidance response in SHRP2 rear-end crashes and near-crashes: A decision tree approach. *Accident Analysis & Prevention*, 154, 106055. <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2019.01.016>