



26° Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

INVESTIGAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A PRESENÇA DE BURACOS E O PADRÃO DE CONDUÇÃO VEICULAR

Alison kaio Dantas Pereira¹; Thiago de Jesus de Souza² & Wellington Lorrán Gaia Ferreira³

RESUMO

Os sinistros de trânsito ocorrem em função de diversos fatores, variando desde as condições mecânicas dos veículos, até o estado físico e mental do condutor. No entanto, a infraestrutura viária também é um fator que pode afetar o comportamento do motorista e, conseqüentemente, impactar a segurança. Nesse contexto, a presença de buracos na superfície dos pavimentos, alinhada às condições de tráfego, podem afetar a dinâmica de condução dos veículos, e gerar pontos potenciais para a ocorrência de sinistros. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a relação entre a presença de buracos e o padrão de condução veicular. Em um trecho de aproximadamente 38 km da RN-117, foram catalogados quatro (04) buracos com características distintas (dimensões e distribuição dentro da faixa de rolamento), além de georreferenciados. Por meio de um sistema embarcado, a geolocalização da trajetória veicular e as acelerações transversais e longitudinais foram monitoradas com certa precisão a fim de compreender se a presença de buracos interfere no padrão de condução dos motoristas. Os resultados indicam que o tamanho e a posição dos buracos podem afetar o comportamento do condutor gerando zonas potencialmente perigosas. Portanto, é fundamental identificar esses buracos a fim de proporcionar maior segurança nas vias, seja realizando manutenções nesses pontos ou sinalizando o usuário dos perigos no trecho.

PALAVRAS-CHAVE: buracos, segurança viária, condução veicular, trajetória veicular.

ABSTRACT

Traffic accidents are influenced by various factors, ranging from the mechanical conditions of vehicles to the physical and mental state of the driver. However, road infrastructure is also a factor that can affect driver behavior and, consequently, impact safety. In this context, the presence of potholes on road surfaces, combined with traffic conditions, can affect the driving dynamics of vehicles and create potential points for accidents to occur. This study aims to evaluate the relationship between the presence of potholes and vehicular driving patterns. Along a stretch of approximately 38 km of RN-117, four (04) potholes with distinct characteristics (dimensions and distribution within the lane) were cataloged and georeferenced. Through an onboard system, the geolocation of the vehicle's trajectory and transverse and longitudinal accelerations were monitored with certain precision to understand if the presence of potholes interferes with driver behavior. The results indicate that the size and position of potholes can affect driver behavior, generating potentially hazardous zones. Therefore, it is essential to identify these potholes in order to provide greater safety on roads, either by carrying out maintenance at these points or by alerting users to the dangers in the stretch.

KEY WORDS: potholes, road safety, vehicular driving, vehicle trajectory.



1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2021), os sinistros de trânsito causam aproximadamente 1,3 milhão de mortes e 50 milhões de feridos por ano em todo o mundo. A OMS (2021) estima que cerca de 13 milhões de vidas serão perdidas e 500 milhões de pessoas ficarão feridas em sinistros de trânsito já na próxima década. Segundo a Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2022), entre os anos de 2021 e 2022 foram registrados 64.447 sinistros, sendo 52.948 com vítimas, entre mortos ou feridos, em rodovias federais que cortam o Brasil. Essas rodovias representam apenas 30,8% de toda a malha rodoviária pavimentada do país, o que indica que o número de sinistros pode ser subestimado. Esses dados apontam para o grave problema relacionado a ausência de segurança viária que vem provocando milhares de vítimas.

As investigações relacionadas aos sinistros de trânsito apontam para um problema multifatorial, pois envolvem diferentes variáveis como geometria da via, condição mecânica do veículo, condições climáticas e estado físico e mental do condutor. Além disso, a infraestrutura viária, associada a esses fatores, pode afetar a segurança viária (RIBEIRO *et al.*, 2019; MAIA, 2020; HE *et al.*, 2021). Nesse sentido, Larocca (2018), Choudhari e Maji (2019) e Rodrigues (2022) mencionam que a condição do pavimento, a geometria da via e a ausência de sinalização podem ter impacto no padrão de condução do motorista.

No que se refere à condição da rodovia, Kumar e Gupta (2021) citam que um fator que impacta, diretamente, os sinistros de trânsito é a condição da superfície do pavimento. a CNT (2023) cita que pontos críticos na via, como presenças de buracos, podem interferir no comportamento do condutor e, conseqüentemente, na ocorrência de sinistros. Ainda de acordo com a CNT (2023), o relatório anual aponta que aproximadamente 57% da extensão das rodovias apresenta algum problema relacionado a infraestrutura do pavimento. Por isso, os tamanhos e distribuições dos defeitos no pavimento, associados a mudança da trajetória do condutor, devem ser investigados.

Nesse sentido, o desenvolvimento de dispositivos embarcados para avaliar o padrão de condução veicular tem sido investigado. Além disso, o uso de diferentes sensores acelerômetros e de *Global Positioning System (GPS)* aprimoram a qualidade dos dados para monitorar a segurança viária e a estrutura do pavimento (UUS *et al.*, 2016 e MAZZEI e DI LELLIS, 2022). Para além dos fatores relacionados ao estudo da superfície e padrão de condução, Arman e Tampère (2022) citam que a utilização dos dispositivos embarcados transforma o sistema numa grande base de dados de aquisição constante, o que pode auxiliar na gerência e manutenção das vias consideradas críticas.

Nesse contexto, é importante compreender como a presença de buracos no pavimento pode interferir no comportamento do motorista e no desvio da trajetória considerada ideal. Além disso, a investigação desses defeitos pode ser útil para manter a segurança nas vias, seja no auxílio de medidas relacionadas à gerência dos pavimentos e à manutenção das vias, seja na localização dos pontos críticos, com o objetivo de mapear e informar previamente aos motoristas. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é investigar a relação entre a presença de buracos e o padrão de condução veicular. Para tanto, foi desenvolvido um sistema embarcado de baixo custo, que tem como objetivo coletar o padrão de condução dos veículos com certa precisão, por meio de um conjunto de



módulos sensíveis integrados. Os dados do dispositivo foram confrontados com buracos na via, que, por sua vez, foram previamente aferidos e georreferenciados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

O estudo foi realizado no estado do Rio Grande do Norte (RN), entre os municípios de Caraúbas e Mossoró, as duas cidades estão localizadas na região do Oeste Potiguar. A rodovia selecionada foi a RN-117. A Figura 1 apresenta um mapa de localização da área de estudo. O trecho foi escolhido devido a grande quantidade e variedade de defeitos do tipo buraco, além dos relatos frequentes de sinistros. Além disso, a Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) está localizada na cidade de Caraúbas, o que torna o trecho do estudo estratégico para os que trafegam da cidade até a região de Mossoró.

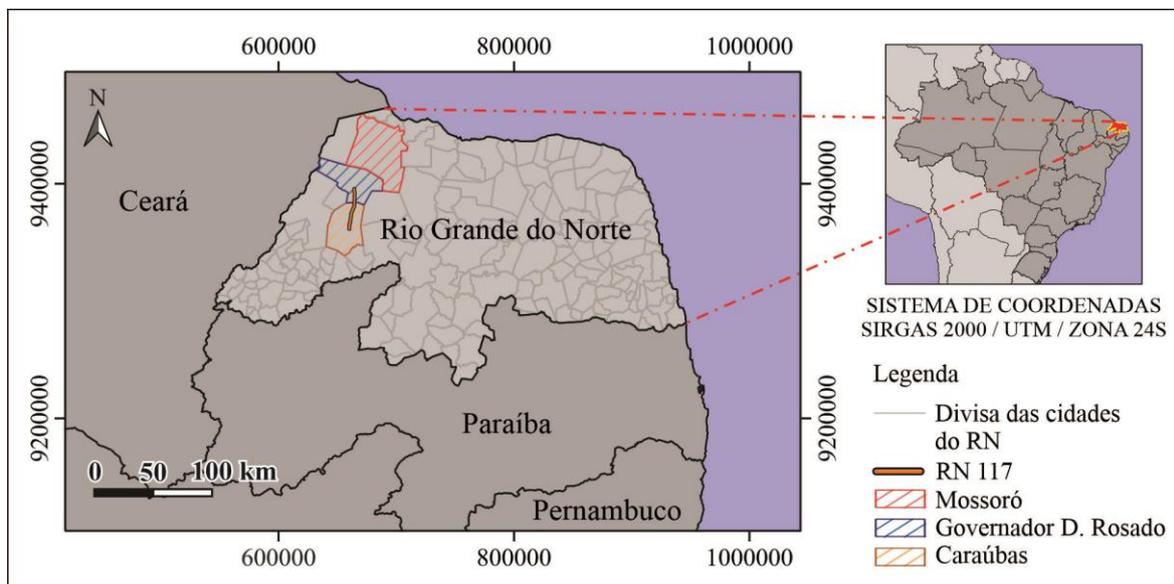


Figura 1 - Mapa da região de estudo.

A pesquisa foi realizada em um trecho de cerca de 38 km, entre as cidades de Caraúbas/RN e Governador Dix-Sept Rosado/RN (Figura 1). Trata-se de trecho de via simples de mão dupla, de 6,0 m de largura (3,0 m para cada faixa de rolamento), em tangente, sem acostamento, com sinalização horizontal deficiente. Devido a grande quantidade de buracos, optou-se por avaliar quatro (04), no total. A Figura 2 mostra um recorte da área de pesquisa, nomeando os buracos de B1 (buraco número 1) até B4 (buraco número 4).

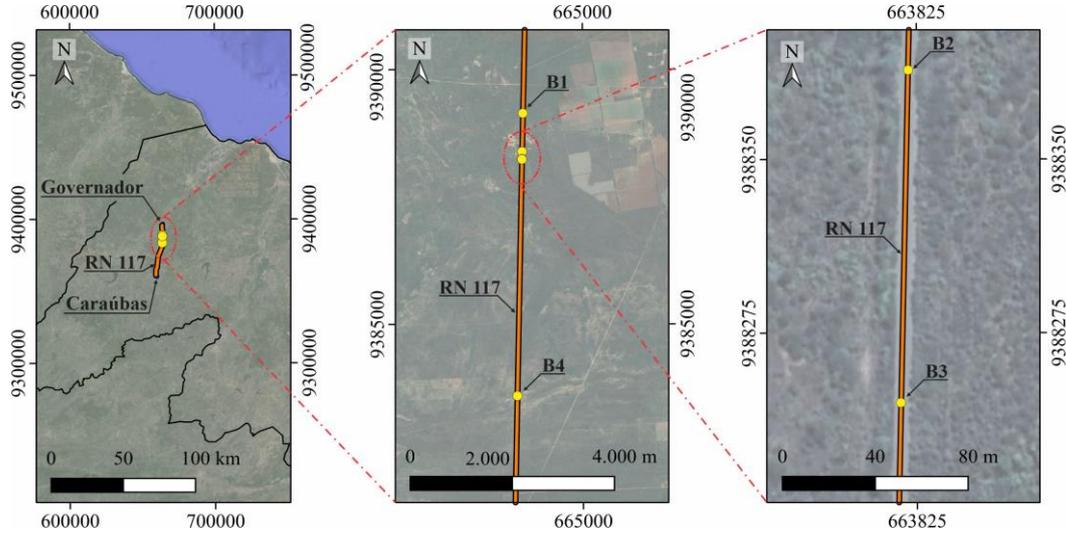
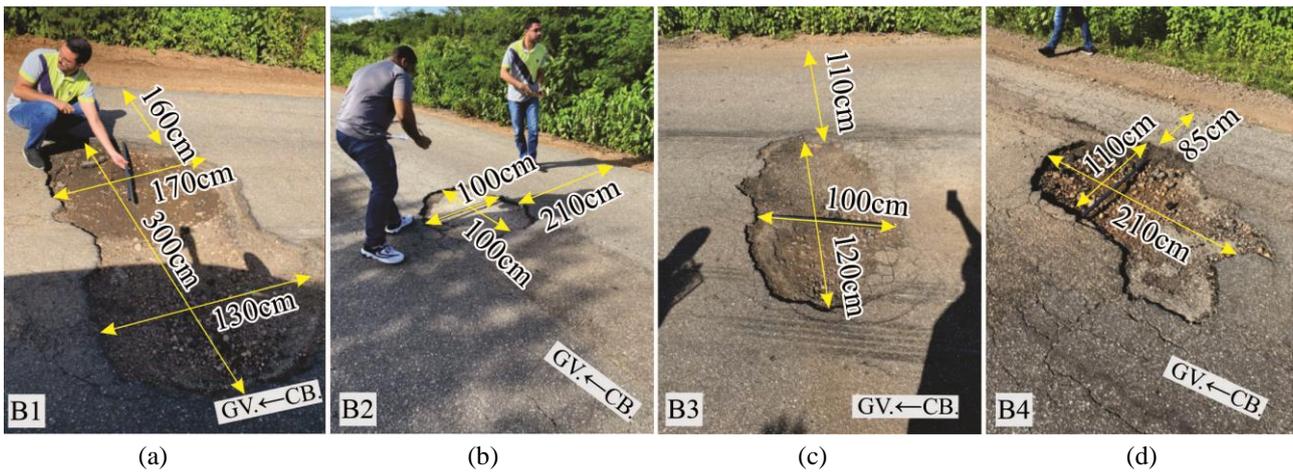


Figura 2 - Trecho de estudo

Os buracos selecionados para avaliação possuem características diversas em termos de tamanho, profundidade e distância da borda externa da rodovia. Na Figura 3, é apresentado cada buraco individualmente, indicando os sentidos da via. Na Tabela 1, um resumo das características de cada buraco.



Legenda: a abreviação GV. se refere a cidade de Governador Dix-Sept Rosado, e CB., a Caraúbas.

Figura 3 - Imagem dos seis (06) buracos catalogados para análise

Tabela 1 - Resumo das características dos buracos

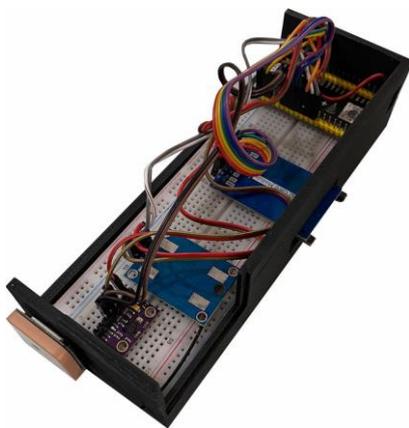
Buraco	Profundidade no Centro (cm)	Maior dimensão em X (cm)	Maior dimensão em Y (cm)	Distância da borda externa (cm)
B1	13,00	170,00	300,00	160,00
B2	3,50	100,00	100,00	210,00
B3	9,00	120,00	100,00	107,00
B4	13,00	110,00	210,00	85,00



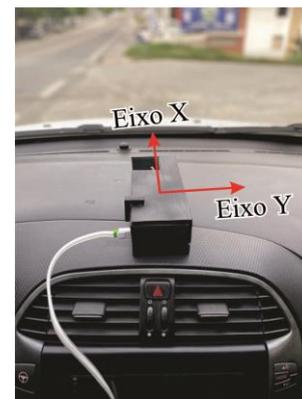
2.2. Coleta do Padrão de Condução

Para compreender o padrão de condução veicular, foi desenvolvido um sistema embarcado que coleta informações relacionadas à geolocalização do trajeto do veículo com certa precisão e à aceleração transversal e longitudinal. Essas informações foram confrontadas com a localização e as características (tamanho e distribuição) dos quatro buracos catalogados. A finalidade da análise é obter padrões de comportamento do condutor na presença dos defeitos no pavimento. O dispositivo embarcado (Figura 4a) é formado por uma placa ESP32, integrado com um *Global Positioning System (GPS)*, que retorna a geolocalização do veículo ao longo da rodovia, um módulo acelerômetro de nove eixos, responsável pela captura dos deslocamentos do veículo na faixa de rolamento, e um módulo *Micro SD* para armazenamento das informações. Trata-se de um equipamento de baixo custo, possível de ser embarcado em diversos veículos.

Devido a dificuldade de realizar estudos naturalistas em campo, as coletas foram realizadas com dois motoristas distintos, em dois veículos de passeio, de porte pequeno, com mecânica, dimensões e características similares. No total, foram realizadas três (03) coletas de dados. Apesar de compreender que, estatisticamente, a amostra pode não representar uma população, este estudo inicial foi realizado com o intuito de verificar se há relação entre defeitos no pavimento e condução do motorista. É importante ressaltar que o equipamento foi posicionado no centro do veículo, sobre o painel, em todas as coletas (Figura 4b).



(a) Dispositivo montado



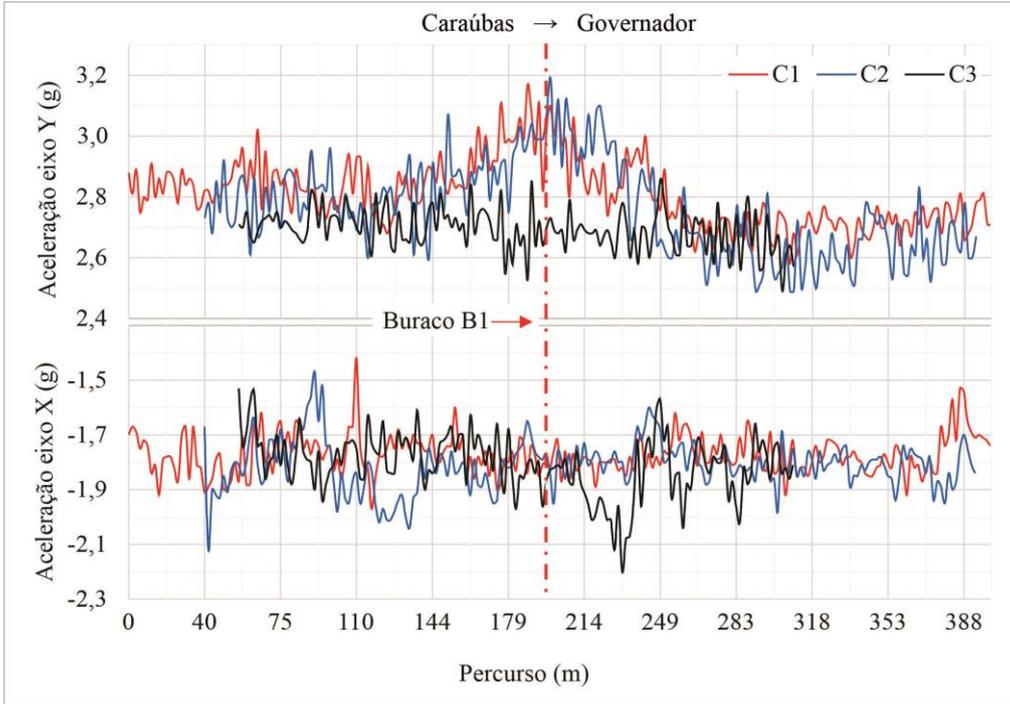
(b) Dispositivo em campo

Figura 4 - Dispositivo embarcado

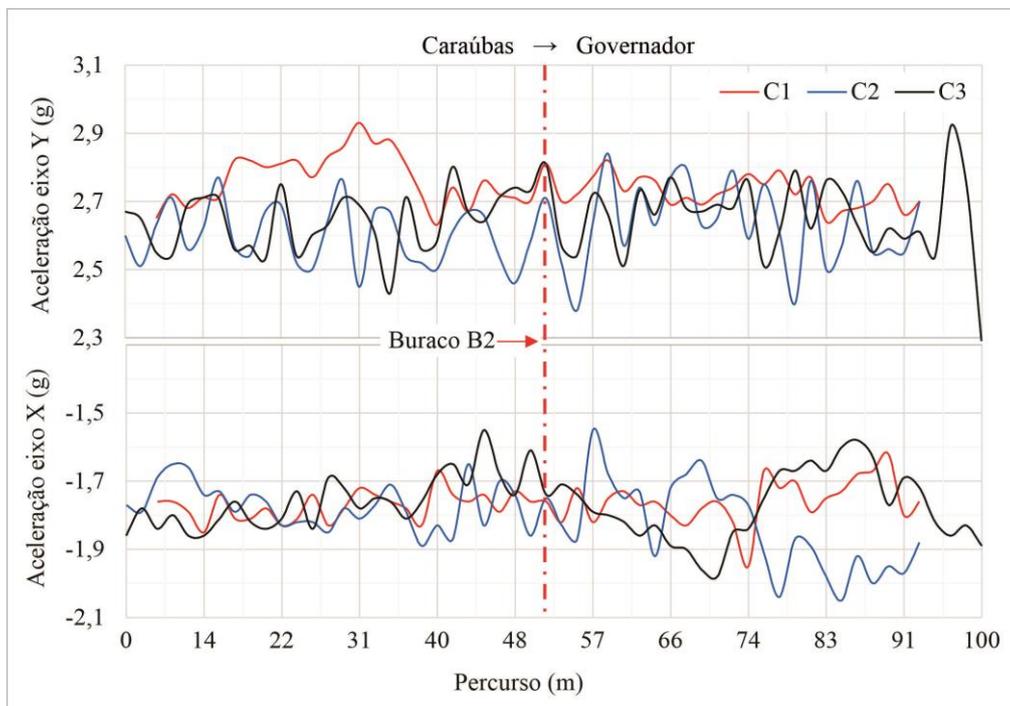
3. RESULTADOS

3.1. Influência do Tamanho do Buraco no Padrão de Condução Veicular

A Figura 5 apresenta os resultados de aceleração no eixo X (longitudinal à pista) e no eixo Y (transversal à pista) confrontando os dados do buraco 1 (B1) com o buraco 2 (B2). A letra C indica o percurso realizado por cada um dos três motoristas, avaliando o comportamento deles alguns metros antes e após a presença dos buracos.



(a) Acelerações observadas nas proximidades do buraco 1



(b) Acelerações observadas nas proximidades do buraco 2

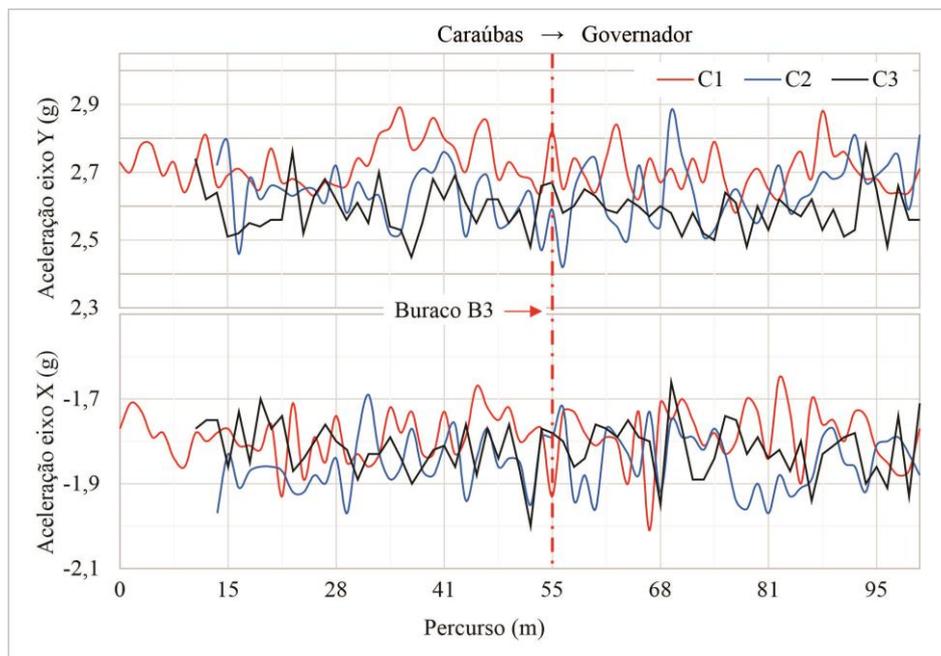
Figura 5 - Acelerações nos eixos X e Y próximas do B1 e do B2



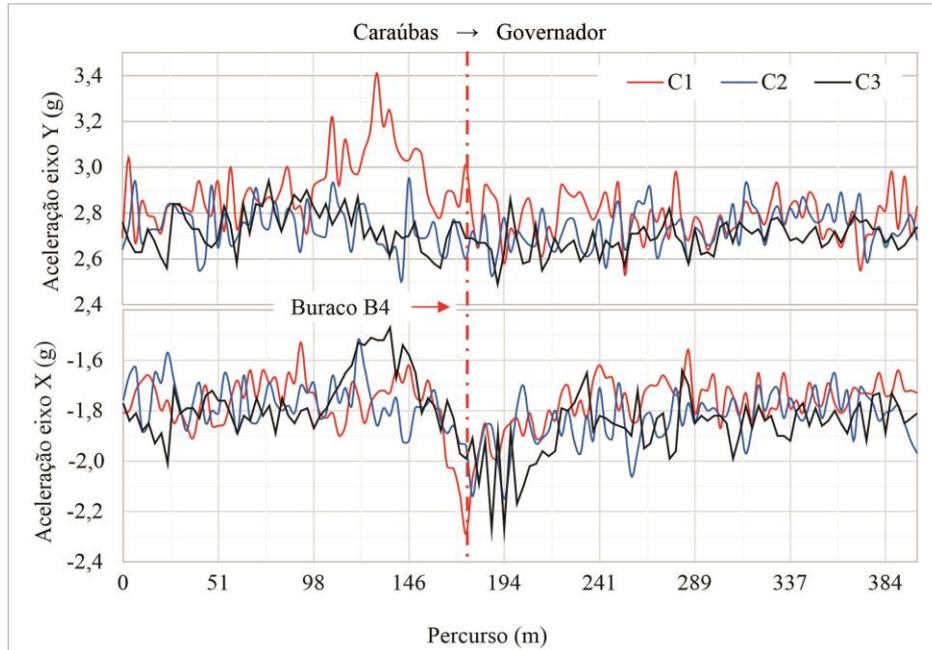
Analisando a Figura 5a, verifica-se que a aceleração no eixo X manteve-se similar ao longo do percurso para os três condutores. No entanto, para a aceleração no eixo Y observa-se que dois dos condutores (C1 e C2) iniciaram algum movimento no sentido transversal da via cerca de 50 m antes do B1, possivelmente tentando desviar do buraco. Já para o condutor 3 (C3), não foi observado nenhuma tendência de movimento quando na presença do B1. O C3 pode ter passado por cima do buraco. O fato do C3 ter realizado um movimento no eixo X, cerca de 30 m após o B1, pode indicar que houve alguma situação inesperada (passar por cima do buraco) e o condutor realizou uma desaceleração. Por outro lado, analisando a Figura 5b, verifica-se que para o B2 não foi observado nenhum padrão de comportamento distinto entre os três condutores tanto no eixo X quanto no eixo Y, indicando que esse buraco não afetou o padrão de condução. Essa diferença de comportamento frente aos buracos pode estar atrelada ao tamanho dos mesmos. O B1 é um buraco com dimensões maiores e com maior profundidade se comparado ao B2, como indicado na Tabela 1. Essa diferença de tamanho pode ter influenciado no padrão dos condutores.

3.2. Influência da Posição do Buraco no Padrão de Condução Veicular

A Figura 6 apresenta os resultados de aceleração no eixo X (londitudinal à pista) e no eixo Y (transversal à pista) confrontando os dados do buraco 3 (B3) com o buraco 4 (B4).



(a) Acelerações observadas nas proximidades do buraco 3



(b) Acelerações observadas nas proximidades do buraco 4

Figura 6 - Acelerações nos eixos X e Y próximas do B3 e do B4

Analisando a Figura 6, verifica-se que para a aceleração no eixo Y (transversal à pista), nenhuma tendência de alteração foi observada para nenhum dos condutores tanto para o B3 quanto para o B4, indicando que não houve movimentação transversal. Com relação ao eixo X, percebe-se uma ligeira desaceleração antes do B4. A posição dos buracos B3 e B4 são similares na via, localizados no centro da faixa de rolamento sendo possível que os veículos ultrapassem se mantendo dentro da faixa de rolamento. Porém, o B4 apresenta maiores dimensões, além de ser mais profundo e com menor espaço entre os limites do buraco e a borda externa da via, como apresentado na Tabela 1. Essa condição do B4 não foi suficiente para modificar o comportamento na transversal dos condutores, porém, houve uma desaceleração longitudinal como sinal de alerta.

3.3. Influência do Buraco na Trajetória do Veículo

Além da avaliação das acelerações nos eixos longitudinal e transversal, a trajetória dos condutores foi investigada (Figuras 7, 8, 9 e 10). Na Figura 7, são mostradas as trajetórias dos condutores C1, C2 e C3 para o buraco 1 (B1).

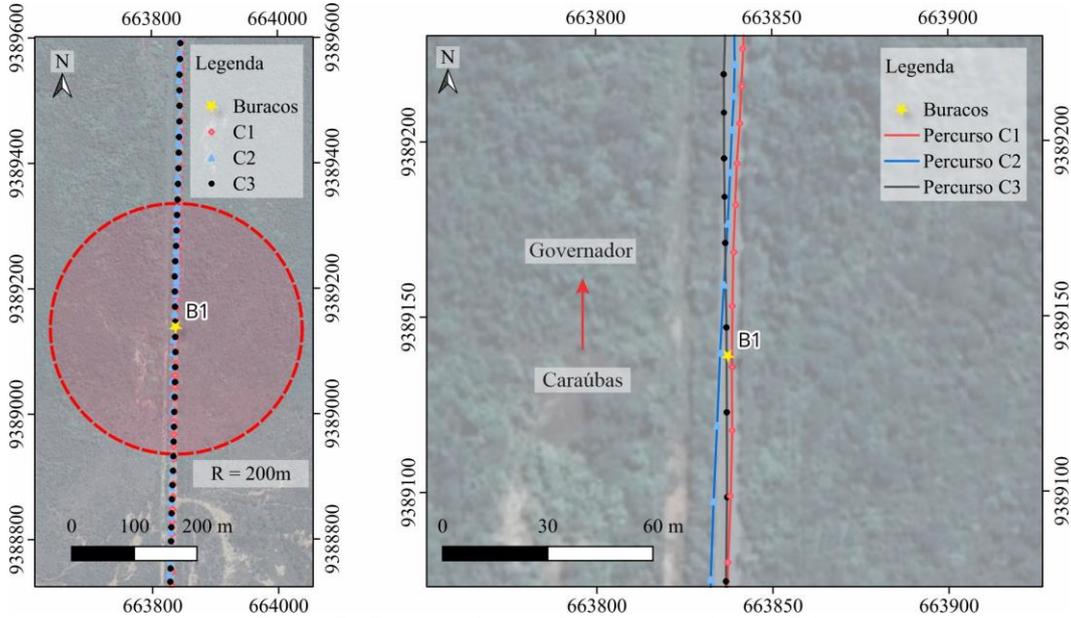


Figura 7 - Percurso dos condutores para o buraco B1

Na Figura 7, observa-se os percursos impostos pelos condutores (C1, C2 e C3) ao passar pelo buraco B1. Verifica-se que a trajetória do C3 se manteve aparentemente retilínea ao longo do trecho, enquanto os condutores C1 e C2 possivelmente tenham realizado algum tipo de manobra. Aparentemente, todos os condutores desaceleraram após passar B1. Esta análise corrobora com as informações mostradas na Figura 5, a taxa de desaceleração pode ter sido maior para o condutor C3, conforme verificado na aceleração do eixo X. Na Figura 8 e Figura 9, são mostrados os mapas dos percursos para os buracos B2 e B3, respectivamente.

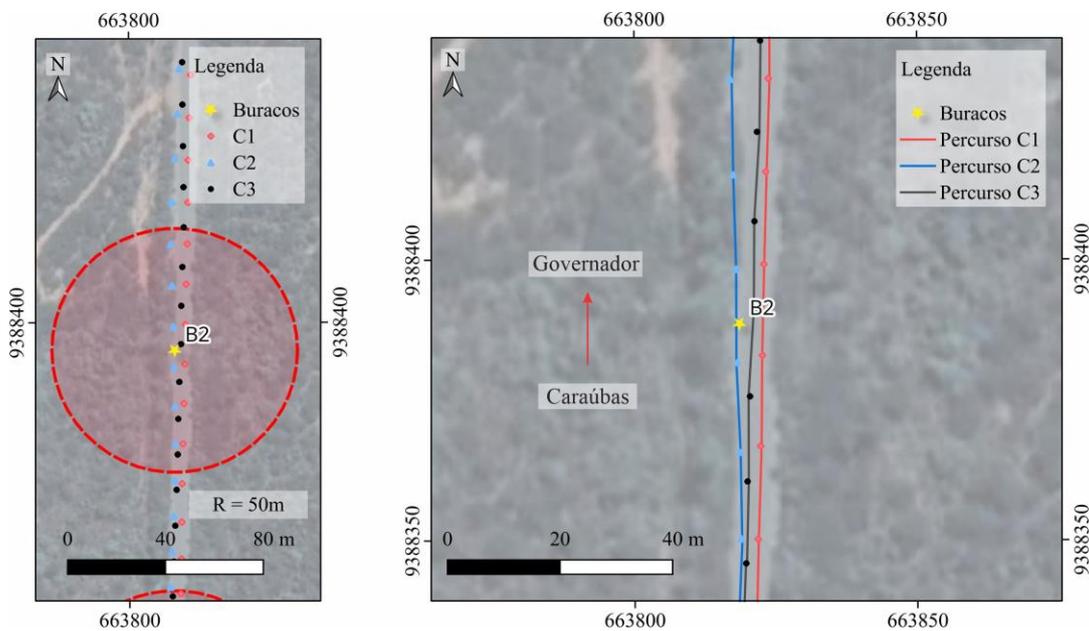


Figura 8 - Percurso dos condutores para o buraco B2

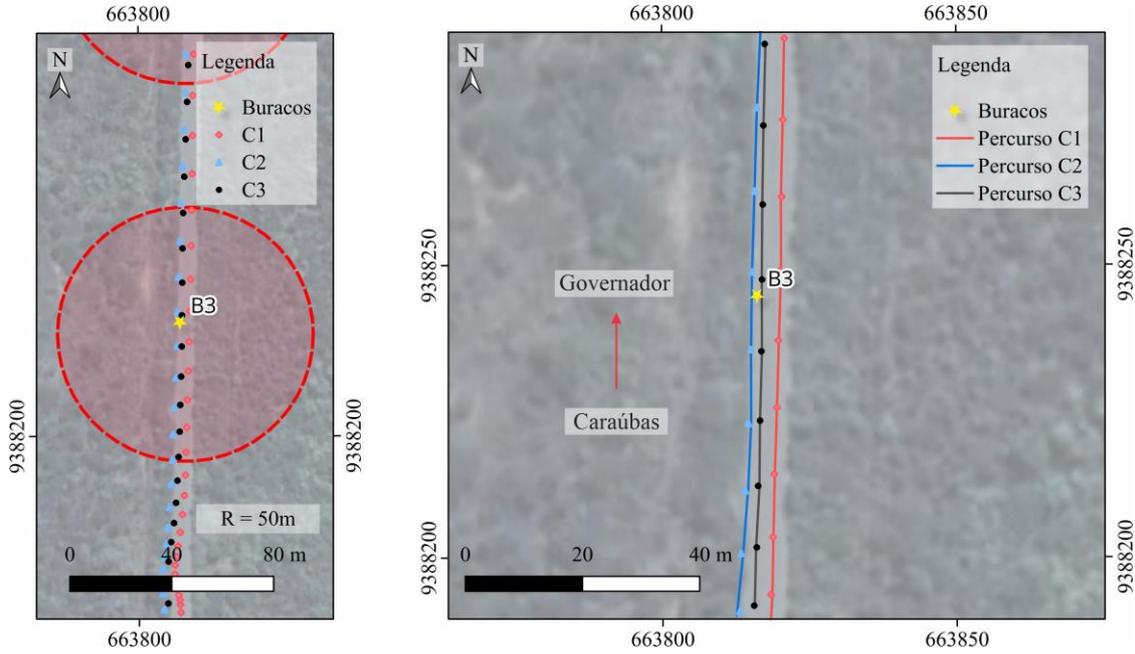


Figura 9 - Percurso dos condutores para o buraco B3

De acordo com os mapas mostrados nas figuras 8 e 9, verifica-se os percursos mantiveram-se lineares, sem muita variação no sentido longitudinal. Porém, para o eixo transversal, houve uma leve variação do condutor C2 para o B2, fato que pode estar relacionado com a variação transversal a 30 m do B2, mostrada na Figura 5. Na Figura 10, são mostrados os percursos dos condutores para o B4.

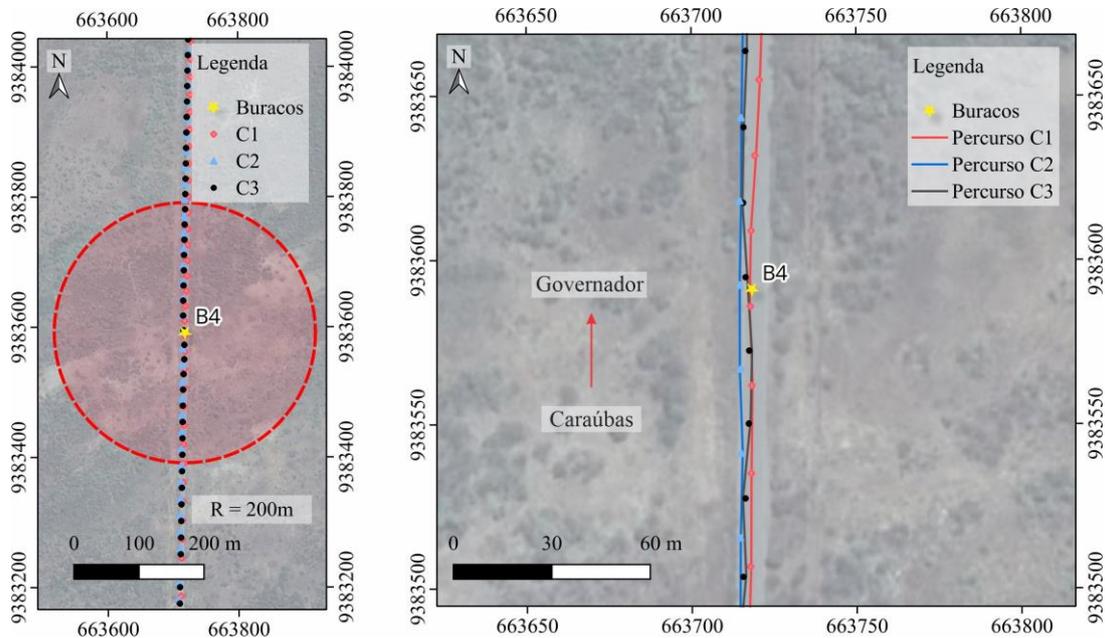


Figura 10 - Percurso dos condutores para o buraco B4



Analisando o mapa mostrado na Figura 10, observa-se que houve uma pequena variação longitudinal dos condutores, possivelmente devido ao sinal de alerta relacionado ao B4. O condutor C3 aparentemente realizou uma pequena variação lateral. Porém, possivelmente foi de forma leve, em longa distância no eixo longitudinal. As análises dos percursos mostrados nos mapas (figuras 7, 8, 9 e 10) corroboram com as observações mostradas nos gráficos (figuras 5 e 6), resultantes da aceleração nos eixos longitudinal e transversal, para os três condutores do estudo.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo investigar se a presença de buracos nas rodovias afeta a condução veicular. Verificou-se que as características dos buracos, isto é, as dimensões e a posição dos mesmos na via podem influenciar o comportamento dos motoristas. Buracos de tamanho maior que cobrem parte da faixa de rolamento provocam movimentação lateral dos veículos. No caso em estudo trata-se de uma via de mão dupla, sem acostamento, com buracos localizados em um tangente, isto é, em um trecho com possibilidade de ultrapassagem entre veículos, e qualquer movimento transversal abrupto gerado pela presença de buracos pode ser perigoso a depender da dinâmica do tráfego no local. Ademais, se o buraco estiver mais próximo da borda da via, com estreito espaço para o pneu do veículo passar, o motorista tende a desacelerar longitudinalmente buscando maior segurança. Portanto, são pontos que devem servir de alerta tanto para os motoristas quanto para os gestores do trecho responsáveis pelos serviços de manutenção. Por fim, em trabalhos futuros, espera-se aumentar a quantidade de dados coletados (maior quantidade de buracos e de condutores), a fim mapear outros cenários e consolidar as tendências observadas nesse estudo, de forma a contribuir com redução da ocorrência de sinistros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARMAN, M. A.; TAMPÈRE, C. M. J. Lane-level trajectory reconstruction based on data-fusion. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 145, p. 103906, 2022.
- CHOUDHARI, T.; MAJI, A. Socio-demographic and experience factors affecting drivers' runoff risk along horizontal curves of two-lane rural highway. *Journal of Safety Research*, v. 71, p. 1–11, 2019.
- CNT (2022). Confederação Nacional dos Transportes. Painel CNT de Consultas Dinâmicas dos Sinistros Rodoviários.
- CNT (2023). Confederação Nacional dos Transportes. Guia CNT de Segurança nas Rodovias.
- HE, H.; LI, R.; YANG, Q.; PEI, J.; GUO, F. Analysis of the Tire-Pavement Contact Stress Characteristics during Vehicle Maneuvering. *KSCE Journal of Civil Engineering*, v. 25, n. 7, p. 2451–2463, 12 jul. 2021.
- KUMAR, A.; GUPTA, A. Review of Factors Controlling Skid Resistance at Tire-Pavement Interface. *Advances in Civil Engineering*, v. 2021, p. 1–16, 2021.
- LAROCCA, A. P. C.; Ribeiro, R. L.; Figueira, A. C.; De Oliveira, P. T. 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*, v. 58, p. 471-487.
- MAIA, R. S. Contributions to the tire-pavement friction characterization from the traffic safety perspective. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.



MAZZEI, M.; LELLIS, A. M. DI. Capacitive accelerometers at low frequency for infrastructure monitoring. *Procedia Structural Integrity*. Anais. Elsevier B.V., 2022.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (2021). Plano global década de ação pela segurança no trânsito 2021-2030. Geneva, Switzerland.

RIBEIRO, P. J. G.; Araujo, C. M. C.; Goncalves, L. A. P. J.; Dias, G. J. C.; Cunto, F. J. C. (2019) Micro-simulation of the impact of different speeds on safety road travel and urban travel time: case study in the city of Guimarães. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, v. 15, p. 297-310.

RODRIGUES, J.G., Paiva, R.M.S., Ferreira, W.L.G. (2022) Avaliação da Macrotextura de Pavimentos Asfálticos em vias Urbanas e a Relação com a Segurança Viária. 24º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 47ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV), Bento Gonçalves, RS.

UUS, A.; MIAH, S.; ROBERTS DIRECTOR, S.; TWIST GEOPHYSICIST, S.; HOVENS, M.; NARDONI, G. NDT Sensor Fusion: Optimisation of NDT Sensor Data Processing Strategies for Road Infrastructure Inspection. 2016.