

VELOCIDADES INSEGURAS EM CURITIBA-PR

XXXXX

XXXXXXXXXX

XXXXX

XXXXXX

XXXXXXXX

RESUMO

O trabalho tem como objetivo analisar a incidência de velocidades inseguras em Curitiba, Paraná, investigando a existência de um padrão espacial deste fenômeno e sua incidência conforme diferentes hierarquias das vias. Com dados naturalísticos de velocidade instantânea e as coordenadas geográficas, foram calculadas velocidades de 85º percentil (V85), utilizada como indicador de velocidade insegura. Como unidade espacial de base para o cálculo, utilizou-se os hexágonos do grid H3. O Moran Local foi utilizado para identificar padrões geográficos da velocidade. A análise revela que áreas centrais de Curitiba apresentam menores valores de V85, enquanto regiões periféricas e próximas de rodovias mostram maiores valores, explicitando a problemática das travessias urbanas. A investigação destaca que vias locais e coletoras apresentam V85 incompatíveis com suas funções e características.

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the incidence of unsafe speeds in Curitiba, Brazil, investigating the existence of a spatial pattern of this phenomenon and its occurrence according to different road hierarchies. Using naturalistic data of instantaneous speed and geographic coordinates, 85th percentile speeds (V85) were calculated, used as an indicator of unsafe speed. Hexagons from the H3 grid were used as the spatial unit for the calculation. Local Moran was used to identify geographic patterns of speed. The analysis reveals that central areas of Curitiba have lower V85 values, while peripheral areas and regions near highways show higher values, highlighting the issue of urban crossings. The investigation emphasizes that local and collector roads have V85 values incompatible with their functions and characteristics.

1. INTRODUÇÃO

O efeito negativo de altas velocidades na mobilidade segura em ambientes urbanos já vem sendo extensivamente investigado pela literatura, tendo em vista que a velocidade influencia no risco e na severidade de sinistros. Em cidades, aonde os usuários mais vulneráveis (pedestres e ciclistas) a esse fator de risco vem sendo mortos ou feridos em impactos com veículos motorizados, vê-se a importância de se repensar os limites de velocidade e garantir o tráfego dos veículos motorizados a uma velocidade segura (NACTO, 2022). A velocidade é um fator central na ocorrência de óbitos no trânsito, influenciando diretamente na gravidade de um sinistro - considerando a energia de impacto - a na chance de ocorrência - afetando negativamente o tempo de reação e a visão periférica do condutor (GRSP, 2023).

Santos (2022) investigou a autocorrelação espacial do excesso de velocidade em Curitiba-PR e identificou que esse fator de risco não ocorre com mesma intensidade ao longo território da cidade. Inclusive, observou-se uma diferença significativa no nível de renda da população entre zonas de alto e baixo excesso de velocidade, mostrando que regiões com menores níveis de renda estão mais expostas ao fator de risco do excesso de velocidade. Porém, a análise única do excesso de velocidade impossibilita identificar a ocorrência de velocidades inseguras, ou seja, aquelas que mesmo estando abaixo dos limites de velocidade ainda representam uma situação insegura para o cenário urbano. Assim, o objetivo desse trabalho é analisar a incidência de velocidades inseguras em Curitiba-PR. Em adição, busca-se detectar possíveis padrões geográficos dessa incidência no território da cidade e investigar essas ocorrências em diferentes tipos de vias, com base na detecção de agrupamentos espaciais através de técnicas de autocorrelação local.

2. METODOLOGIA

O conceito de velocidade insegura adotada neste trabalho baseou-se nas considerações de NACTO (2022), que recomenda limites de velocidade entre 15 km/h e 40 km/h em ambientes urbanos. Limites de 50 km/h e 60 km/h podem ser recomendados em situações específicas - em vias que atendam condições de mobilidade segura para os usuários mais vulneráveis. Assim, para essa pesquisa, velocidades inseguras são aquelas acima de 40 km/h, independente dos limites estabelecidos na cidade de Curitiba.

A investigação foi realizada com base na amostra do projeto de pesquisa Estudo Naturalístico de Direção Brasileiro (NDS-BR). O NDS-BR inclui um método de coleta de indicadores do desempenho da segurança viária associados à tarefa real de condução por meio da instrumentação dos veículos dos condutores participantes. Nesse contexto, os dados utilizados para o presente estudo foram aqueles de velocidade instantânea juntamente com suas coordenadas, coletados através de um receptor *GPS* em frequência de 1 Hz (Bastos et al., 2023).

Buscou-se estabelecer a velocidade de 85º percentil (V85) como um indicador de desempenho para a velocidade insegura. Para realizar esse cálculo, os dados de velocidade instantânea foram associados às unidades geográficas do grid espacial H3. O H3 é um sistema de grid hierárquico, criado pela empresa Uber, que representa a superfície terrestre em hexágonos, e esses hexágonos possuem diferentes resoluções espaciais, conforme a escala necessária (Brodsky, 2018). O grid para a cidade de Curitiba foi disponibilizado pela biblioteca *aopdata* para a linguagem de programação R (Pereira et al., 2022), em que cada hexágono representa uma área de 0,1 km² (resolução 9). Para o cálculo do V85, considerou-se apenas os pontos com velocidade acima de 0 km/h. A junção espacial dos dados do NDS-BR com os hexágonos do H3 foi elaborada com auxílio da biblioteca *sf* no R (Pebesma, 2018).

Para a detecção de padrões geográficos na incidência do V85, utilizou-se o método de Moran Local. Esse método é classificado como um indicador local de associação espacial (LISA), que permite o cálculo de uma estatística de autocorrelação espacial para cada local da amostra. A partir deste método, *clusters* estatisticamente significativos podem ser classificados como *High-High* ou *Low-Low* (altos e baixos valores de V85, juntamente com hexágonos vizinhos), ou *outliers High-Low* e *Low-High* (altos e baixos valores de V85 cercados por hexágonos vizinhos com valores mais baixos ou mais altos) (Anselin, 2010). A aplicação do Moran Local neste trabalho foi baseada em uma matriz de pesos espaciais na configuração *Queen contiguity* de primeira ordem, com auxílio da biblioteca *rgeoda* para o R (Li, 2021).

A identificação da velocidade insegura de acordo com a hierarquia das vias foi realizada com base nos dados geográficos de eixos de vias disponibilizados pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC, 2024).

3. RESULTADOS

No total, a amostra do NDS-BR utilizada nesse trabalho apresentou uma quantidade de 40 condutores, que realizaram 1.443 viagens entre 2019 e 2023. Isso totalizou uma quantidade de 505,05 horas de condução e uma distância de 10.065,95 quilômetros percorridos. Filtrando os pontos com velocidade acima de 0 km/h, essa amostra foi reduzida para 436,06 horas de condução e uma distância de 9.941,53 quilômetros percorridos. Em relação aos condutores, houve uma distribuição exata entre participantes do sexo masculino e feminino, com idades variando entre 20 e 62 anos. Quatro condutores exerciam atividade remunerada em seus veículos. O tempo de habilitação dos participantes variou entre 4 e 40 anos.

O território de Curitiba é representado no grid H3 com base em 4.466 hexágonos da resolução 9 (0.1 km²). Porém, a amostra do NDS-BR não foi suficiente para cobrir todo o território da cidade. Assim, utilizou-se uma amostra de 2.472 hexágonos com dados do NDS-BR. Em relação à distribuição da amostra, 88% dos hexágonos apresentaram um tempo de viagem de até 20 minutos, 9% um tempo de viagem entre 20 e 60 minutos e 3% um tempo de viagem superior a 60 minutos.

A Figura 1 apresenta os resultados do V85 e os resultados do Moran Local com base no indicador. Observa-se menores valores de V85 na região central da cidade (Clusters *Low-Low*) e maiores valores de V85 nas regiões mais afastadas, coincidindo com a localização do contorno rodoviário da BR-277 que passa pelo território de Curitiba (Clusters *High-High*). Outros outliers espaciais, principalmente os *High-Low*, podem ser observados de forma mais espalhada no território. Grande parte dos hexágonos apresentou um V85 entre 30 e 40 km/h ou entre 40 e 50 km/h. No total, 243 hexágonos foram classificados como *High-High* e 255 hexágonos foram classificados como *Low-Low*. Considerando os outliers, 36 hexágonos foram classificados como *High-Low* e 37 hexágonos foram classificados como *Low-High*.

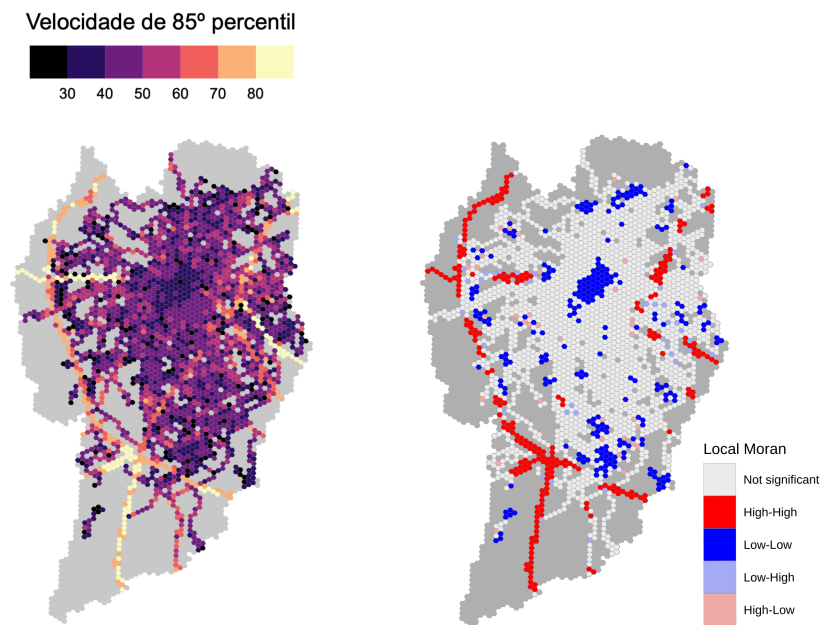


Figura 1: Velocidade de 85º percentil e Moran Local

Com a velocidade insegura mapeada em Curitiba e seu padrão espacial identificado com o Moran Local, foi possível identificar a incidência das velocidades inseguras conforme a hierarquia das vias englobadas pelos hexágonos identificados como *High-High* e *High-Low*. A Tabela 1 apresenta os resultados da extensão de via por V85 e hierarquia, definida pelo Código de Trânsito Brasileiro (CTB), dentro dos *clusters High-High* e *High-Low*.

Tabela 1: Extensão de via por V85 e hierarquia, dentro dos hexágonos *High-High* e *High-Low*

V85	Trânsito rápido	Arterial	Coletora	Local
40 - 50 km/h	-	1,07 km	3,98 km	27,21 km
50 - 60 km/h	5,00 km	3,01 km	17,95 km	76,28 km
60 - 70 km/h	23,57 km	3,79 km	12,28 km	52,78 km
70 - 80 km/h	113,48 km	3,34 km	5,59 km	122,96 km
80 - 90 km/h	54,78 km	-	1,87 km	59,78 km
90 - 100 km/h	30,69 km	-	-	36,03 km
100 - 110 km/h	3,82 km	-	-	4,84 km
110 - 120 km/h	1,38 km	-	-	2,00 km

O primeiro fator que fica mais explícito é a ocorrência de V85 em todas as faixas entre 40 e 120 km/h nas vias locais, com maior quantidade na faixa entre 70 e 80 km/h, mostrando velocidades inseguras e totalmente incompatíveis com as funções dessa hierarquia viária. No caso das coletoras, a incidência de V85 ficou entre 40 e 90 km/h, com a maior parte entre 50 e 60 km/h. As vias arteriais apresentaram a menor extensão dentro dos hexágonos *High-High* e *High-Low*, com V85 variando entre 40 e 80 km/h. As vias de trânsito rápido apresentaram V85 na faixa de 40 a 120 km/h, com a maioria da extensão entre 70 e 80 km/h.

4. CONCLUSÃO

Com o uso dos dados de velocidade instantânea do NDS-BR e do grid H3, foi possível mapear e calcular a autocorrelação local das velocidades inseguras em Curitiba, utilizando o V85 calculado como indicador. Esse processo possibilitou identificar os locais mais inseguros, estabelecidos pelos hexágonos classificados como *High-High* e *High-Low*.

A parte central da cidade apresentou a maior quantidade de *clusters Low-Low*, representando as regiões com velocidades mais seguras. Os hexágonos identificados como *High-High* estão em sua grande maioria localizados nos contornos rodoviários de Curitiba e outros locais de rodovias que passam pelo território da cidade. Isso mostra um dos problemas das travessias urbanas - vias com veículos transitando em altas velocidades dentro do território urbano. Vias locais também foram englobadas em *clusters High-High* e outliers *High-Low*, mostrando uma insegurança nessas vias, cujo objetivo é ter uma função mais de acesso com trânsito mais acalmado, mas que vem apresentando velocidades incompatíveis com as suas características, conforme visto na Tabela 1.

De todas as hierarquias analisadas nas zonas com velocidades mais inseguras, as vias arteriais tiveram a menor extensão englobada nessas áreas. Esse fator se assemelha com o comportamento identificado por Santos (2022), em que zonas de tráfego com uma maior densidade de vias arteriais apresentaram uma correlação negativa com a incidência do excesso de velocidade. Os resultados desse trabalho podem ser mais um indicador do desempenho positivo da gestão da velocidade nas vias arteriais de Curitiba.

Por fim, o presente trabalho buscou analisar a velocidade como um fator de risco sem se basear apenas no excesso de velocidade, mas sim no conceito de velocidades inseguras. Quando os limites de velocidade estabelecidos pelo poder público não atendem a mobilidade segura nas cidades, o diagnóstico com base no excesso de velocidade pode não demonstrar o cenário adequadamente. Para futuras pesquisas, deve-se aprimorar o processo de análise dos eixos das

vias. O uso de polígonos para mapear o V85 trouxe uma certa imprecisão para os resultados calculados considerando a hierarquia das vias.

Agradecimentos

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magnam aliquam quaerat voluptatem. Ut enim aequaeque doleamus.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anselin, L. (2010). Local Indicators of Spatial Association-LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93–115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- Bastos, J. T., Bernardinis, M. d. A. P., Neris, D. F., Schmitz, A., Gadda, T. M. C., Amancio, E. C., & Santos, P. A. B. (2023). Estudo Naturalístico de Direção Brasileiro (NDS-BR): da concepção aos primeiros resultados. *Anais Do Congresso de Pesquisa e Ensino Em Transportes*. 37º Congresso de Pesquisa e Ensino Em Transportes. <https://proceedings.science/anpet-2023/trabalhos/estudo-naturalistico-de-direcao-brasileiro-nds-br-da-concepcao-aos-primeiros-res?lang=pt-br>
- Brodsky, I. (2018, junho 27). *H3: Uber's Hexagonal Hierarchical Spatial Index*. <https://www.uber.com/en-BR/blog/h3/>
- GRSP. (2023). *Speed Management: A Road Safety Manual for Decision-Makers and Practitioners* (Second edition). Global Road Safety Partnership.
- IPPUC. (2024). *EIXO_RUA_SIRGAS: Shapefiles dos Eixos das Ruas em Curitiba*. https://ippuc.org.br/geodownloads/SHAPES_SIRGAS/EIXO_RUA_SIRGAS.zip
- Li, X. (2021). *Rgeoda: R Library for Spatial Data Analysis*. <https://cran.r-project.org/package=rgeoda>
- NACTO. (2022). *City Limits - Setting Safe Speed Limits on Urban Streets*. National Association of City Transportation Officials. https://nacto.org/wp-content/uploads/2020/07/NACTO_CityLimits_Spreads.pdf
- Pebesma, E. (2018). Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data. *The R Journal*, 10(1), 439–440. <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>
- Pereira, R. H. M., Braga, C. K. V., Herszenhut, D., Saraiva, M., & Tomasiello, D. B. (2022). TD 2800 - Estimativas de Acessibilidade a Empregos e Serviços Públicos via Transporte Ativo, Público e Privado Nas Vinte Maiores Cidades Do Brasil No Período 2017-2019. *Texto para Discussão*, 1–36. <https://doi.org/10.38116/td2800>
- Santos, P. A. B. D. (2022). *The Impact of Built Environment on Speeding Behavior in Curitiba - Brazil*. <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/discover>

XXXXX (xxxxxxxxxx)
xxxxxxxxxx, xxxxxxxxxxx
XXXXX (xxxxxxxx)
xxxxxxxx, xxxxxxxx, xxxxxxxxxxx