

O IMPACTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO NO EXCESSO DE VELOCIDADE:

Uma Análise em Curitiba - Brasil

The Impact of Built Environment on Speeding Behavior

An Analysis in Curitiba - Brazil

El Impacto del Entorno Construido en el Exceso De Velocidad

Un análisis en Curitiba - Brasil

Pedro Augusto Borges dos Santos, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano da Universidade Federal do Paraná, pedroaugusto@ufpr.br

Dr Oscar Oviedo-Trespalacios, Queensland University of Technology, oscar.oviedotrespalacios@qut.edu.au

Dr Jorge Tiago Bastos, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano da Universidade Federal do Paraná, jtbastos@ufpr.br

RESUMO

O comportamento de excesso de velocidade de condutores de automóveis é um dos principais fatores de risco de sinistros de trânsito, influenciando na gravidade e no risco de ocorrência desses sinistros. As características do desenvolvimento espacial de uma cidade, incluindo o ambiente construído, podem influenciar o desempenho da segurança viária em ambientes urbanos. Neste contexto, o objetivo principal do presente trabalho é investigar a influência do ambiente construído na prática do excesso de velocidade, utilizando a cidade de Curitiba, Brasil, como cenário de estudo. Modelos de regressão geograficamente ponderada (RGP) foram aplicados para analisar os efeitos de seis dimensões do ambiente construído sobre a taxa de excesso de velocidade, utilizando zonas de tráfego como unidade de análise. Os dados de excesso de velocidade foram extraídos de um estudo naturalístico de direção, que incluiu 16 condutores participantes. Observou-se que a densidade de radares foi significativamente associada a menores taxas de excesso de velocidade. A amostra atual de viagens percorridas não foi o suficiente para cobrir todas as zonas de tráfego e os modelos RGP não atingiram o desempenho esperado. Portanto, futuros trabalhos devem incluir o desenvolvimento de novos modelos com amostras maiores para a obtenção de análises mais representativas.

Palavras-chave: ambiente construído, segurança viária, excesso de velocidade, estudo naturalístico de condução.

Linha de Investigação:

B2_Os Desafios da Cidade e do Território no Século XXI: B2.4_Bloco transversal – Novas Tecnologias na Análise e Projeto do Território e da Cidade.

ABSTRACT

The speeding behavior of vehicle drivers is one of the main risk factors for traffic crashes, influencing the severity and the risk of occurrence of these crashes. City development characteristics, including the built environment, can influence the road safety performance in urban environments. In this context, the main objective of this paper is to investigate the influence of the built environment on speeding behavior, using the city of Curitiba, Brazil, as the study setting. Geographically weighted regression (GWR) models were applied to analyze the effects of six dimensions of the built environment on speeding rate, using traffic analysis zones as the zonal level. The speeding data was extracted from a naturalistic driving study, which included 16 participating drivers. It was observed that the density of speed cameras was significantly associated with lower speeding rates. The current sample of performed trips was not enough to cover all traffic analysis zones and the GWR models did not achieve the expected performance. Therefore, future work should include the development of new models with larger samples to reach more conclusions.

Keywords: built environment, road safety, speeding behavior, naturalistic driving study

Linha de Investigação:

B2_The Challenges of the City and the Territory in the XXI Century – B2.4_Cross Block: New Technologies in the Analysis and Design of the Territory and the City.

RESUMEN

El exceso de velocidad de los conductores de automóviles es uno de los principales factores de riesgo de los siniestros de tráfico, ya que influye en la gravedad y la probabilidad de que se produzcan. Las características del desarrollo espacial de una ciudad, incluido el entorno construido, pueden influir en los resultados de la seguridad vial en entornos urbanos. En este contexto, el objetivo principal de este trabajo es investigar la influencia del entorno construido en la práctica del exceso de velocidad, utilizando la ciudad de Curitiba, Brasil, como escenario de estudio. Se aplicaron modelos de regresión ponderada geográficamente (GPR) para analizar los efectos de seis dimensiones del entorno construido sobre el índice de exceso de velocidad, utilizando las zonas de tráfico como unidad de análisis. Los datos sobre el exceso de velocidad se extrajeron de un estudio de conducción naturalista, en el que participaron 16 conductores. Se observó que la densidad de los radares estaba significativamente asociada a un menor índice de exceso de velocidad. La muestra actual de viajes realizados no fue suficiente para cubrir todas las zonas de tráfico y los modelos RGP no alcanzaron el rendimiento esperado. Por lo tanto, el trabajo futuro debe incluir el desarrollo de nuevos modelos con muestras más grandes obteniendo análisis más representativos.

Palavras chave: entorno construido, seguridad vial, exceso de velocidad, estudio de conducción naturalista

Linha de Investigação:

B2_Los Retos de la Ciudad y el Territorio en el Siglo XXI – B2.4_Bloque transversal: Nuevas Tecnologías en el Análisis y Proyecto del Territorio y la Ciudad.

1. Introdução

O comportamento de motoristas relacionado ao excesso de velocidade é um dos principais fatores de risco de sinistros de trânsito, influenciando na gravidade e na chance de ocorrência desses sinistros (Mohan, 2016). Considerando a concentração de usuários no sistema viário de cidades, a maioria dos sinistros de trânsito e conflitos ocorrem em áreas urbanas (WHO, 2018). A severidade dos sinistros de trânsito em ambientes urbanos têm um maior impacto em usuários mais vulneráveis, como pedestres e ciclistas (Welle et al., 2016).

As características do desenvolvimento espacial de uma cidade, incluindo o ambiente construído e as normas de uso do solo, podem influenciar o desempenho da segurança viária (Knoflacher, 2016). O ambiente construído engloba as características físicas dentro da cidade, incluindo padrões de desenvolvimento, uso do solo e características das vias (Ewing & Cervero, 2010). A relação direta entre mobilidade, uso do solo e ambiente construído (De Vos & Witlox, 2013) justifica a importância de conduzir investigações desses fatores na busca de melhorias no desempenho da segurança viária em áreas urbanas.

No presente contexto, o objetivo principal desta pesquisa é identificar a influência do ambiente construído na prática do excesso de velocidade. Curitiba, capital do estado do Paraná, foi estabelecida como cenário do estudo. Os dados de velocidade foram coletados de uma amostra local de condutores, por meio de um Estudo Naturalístico de Condução (*Naturalistic Driving Study - NDS*) executado em Curitiba e região metropolitana: O Estudo Naturalístico de Direção Brasileiro (NDS-BR). O NDS é um método observacional de investigação do comportamento humano com foco na segurança viária, consistindo primariamente em monitorar o comportamento de condutores dentro de seus próprios veículos dentro de condições do dia-a-dia, que podem incluir situações de risco para a segurança. Os veículos dos participantes podem ser equipados com câmeras, aparelhos de GPS e outros sensores. O NDS proporciona uma maior imersão para os participantes, considerando que não há instruções diretas sobre como conduzir o seu próprio veículo por parte dos pesquisadores (Carsten et al., 2013).

Os dados de velocidade instantânea de condutores em um cenário real de condução obtidos por um NDS constituem-se de uma base desejável para investigar a influência do ambiente construído na ocorrência do excesso de velocidade. Essa correlação é investigada através de uma Regressão Geograficamente Ponderada (RGP). Entre os benefícios dessa investigação, pode-se mencionar a discussão sobre novas percepções no âmbito do desenvolvimento e gestão da velocidade em áreas urbanas, considerando as diretrizes operacionais e estruturais de planejamento para o sistema viário e uso do solo.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Excesso de velocidade em vias urbanas

O excesso de velocidade é uma das causas primárias de sinistros de trânsito em todo o mundo, afetando duas principais dimensões: risco e nível de severidade dos sinistros (WHO, 2013). O aumento da velocidade

de veículos é diretamente correlacionado com o aumento na chance de ocorrência e nível de severidade de colisões, assim, a velocidade se relaciona com o nível de desempenho da segurança viária (Mohan, 2016).

Os riscos relacionados ao excesso de velocidade destacam a importância de se estabelecer uma gestão de controle da velocidade de tráfego, principalmente em ambientes urbanos. Rodovias em zonas rurais apresentam maior velocidade de operação, porém as cidades apresentam uma maior interação entre usuários motorizados e usuários não-motorizados, onde até velocidades mais reduzidas ainda significam um risco para pedestres e ciclistas. A velocidade média e a velocidade de operação do tráfego viário dependem de como os condutores escolhem a velocidade praticada. Essa escolha pode estar relacionada a fatores veiculares (tamanho, potência, etc.), fatores humanos / comportamentais (nível de experiência, educação, renda, saúde, etc.) e fatores do ambiente (características das vias, condições de tráfego, condições de clima, etc.) (Shinar, 2017).

Em adição ao estabelecimento dos limites de velocidade, recomenda-se a aplicação de mais medidas de mitigação do excesso de velocidade (Wegman, 2017), que considerem o conjunto de fatores veiculares, humanos/comportamentais e ambientais. Com foco nos fatores ambientais, elementos-chave do desenho urbano, incluindo o ambiente construído, também podem influenciar na redução do excesso de velocidade.

2.2. Ambiente construído e segurança viária

O ambiente construído engloba as características físicas dentro da cidade, incluindo padrões de desenvolvimento, uso do solo e características das vias. Para Ewing & Dumbaugh (2009), o risco e severidade dos sinistros de trânsito estão relacionados com o ambiente construído através de três mediadores: volume de tráfego, quantidade de conflitos de tráfego e velocidades de tráfego (Fig. 1).

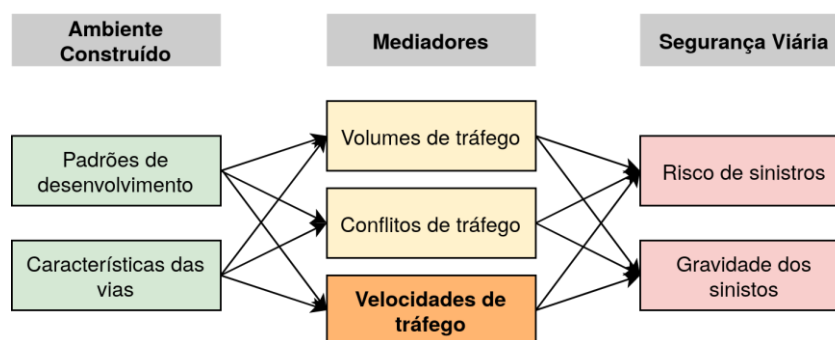


Fig. 1: Ambiente construído e segurança viária. Fonte: Elaboração própria com base em Ewing & Dumbaugh (2009).

Os elementos do ambiente construído podem ser classificados, de forma subjetiva, em seis categorias: densidade; diversidade; design; acessibilidade ao destino; distância ao transporte; e demografia (Ewing & Cervero, 2010). A categoria densidade envolve a medição de uma variável de interesse por unidade de área, incluindo densidade populacional, de residências e de empregos, ilustrando “hotspots” de atividades dentro do território urbano. Obelheiro et al. (2020) detectaram uma correlação inversa entre a densidade populacional e a chance de ocorrência de sinistros. Em relação à diversidade, a categoria considera os diferentes usos de solo dentro da mesma unidade de área. Áreas com mais diversidade de uso do solo estão associadas com um maior número de conflitos de tráfego, levando a uma maior ocorrência de sinistros de trânsito (Rhee et al., 2016).

As características do sistema viário e do arruamento estão incluídas na categoria design, tendo como exemplo o tamanho de quadras, tipo/quantidade de interseções, largura de vias, densidade da rede e proporção de vias arteriais. Também pode se considerar aspectos do controle de tráfego, como a quantidade de semáforos e a presença/quantidade de radares de velocidade. Como exemplo, Huang et al. (2018) observaram que a maior quantidade de interseções pode reduzir as ocorrências de excesso de velocidade, porém aumenta a quantidade de sinistros de trânsito.

A acessibilidade ao destino mede a facilidade de acesso a locais de atração de viagens, incluindo locais de emprego, serviços, comércios e distritos de interesse dentro do território urbano. Para Welle et al. (2016), locais com uma maior acessibilidade ao destino geram menos quilômetros viajados por veículos motorizados, reduzindo a exposição a sinistros de trânsito. A distância ao transporte mede o nível de oferta de serviços de transporte, podendo ser representado pela quantidade de paradas de ônibus e terminais de transporte

coletivo. O aumento da quantidade de pontos de ônibus pode gerar mais conflitos e mais sinistros de trânsito, considerando que esses pontos atraem e geram um maior tráfego de pedestres (Kim et al., 2010). Por fim, mesmo não sendo uma característica direta do ambiente construído, a demografia de uma região pode estar correlacionada no nível de segurança viária. Essa classificação pode incluir as características de renda, idade, educação e gênero da população. Obelheiro et al. (2019) detectaram uma correlação inversa entre renda média e quantidade de sinistros de trânsito.

O modelo estatístico de Regressão Geograficamente Ponderada (RGP) é comumente utilizado na área da segurança viária para explorar a correlação entre variáveis do ambiente construído e a ocorrência de sinistros de trânsito, devido à sua capacidade de analisar cenários em que as variáveis são espacialmente não-estacionárias (Obelheiro et al., 2019). Neste tipo de cenário, assume-se que os parâmetros não são constantes ao longo do espaço. Assim, uma regressão global não é capaz de explorar a correlação entre um conjunto de variáveis com um nível aceitável de precisão (Brundson et al., 1996). O RGP depende de uma função de peso, também conhecida como kernel, entre os pontos de interesse para que o modelo seja calibrado.

3. Métodos

3.1. Coleta de dados naturalísticos

O NDS-BR utilizou duas plataformas de coleta de dados (PCD). Cada PCD contém três câmeras, um sensor de GPS, um notebook para gravar os dados e uma fonte de energia. Uma câmera foi posicionada para gravar o condutor e o painel do veículo. As outras duas foram posicionadas no parabrisa do automóvel, viradas para a parte frontal exterior. As câmeras e o GPS foram conectados no notebook, que controlou a coleta sincronizada dos dados. Não houve a coleta de áudio, buscando não inibir possíveis conversas dos participantes. As câmeras externas possibilitaram a coleta de informações visuais sobre o ambiente externo (condições de tráfego, conflitos, clima, etc.) e a câmera interna possibilitou a coleta de comportamentos do condutor (uso do cinto de segurança, uso do telefone celular, etc.). A Fig. 2 apresenta as imagens coletadas pelas câmeras.



Fig. 2: Imagem coletada pelas câmeras. Fonte: Elaboração própria.

Os detalhes técnicos da coleta e transformação de dados foram apresentados em Borguezani et al. (2020). Este trabalho considerou uma amostra de 16 condutores, com o início de coleta em agosto de 2019 e fim em março de 2021. O cenário da coleta de dados foi Curitiba-PR e sua região metropolitana. A idade dos participantes variou entre 21 e 62 anos, com 7 homens e 9 mulheres. A coleta para cada participante durou entre 5 e 17 dias. A potência dos veículos variou entre 74 CV e 163 CV, com modelos variando entre 2001 e 2019. Ao total, 491 viagens foram coletadas, resultando em 238,85 horas de viagem e 5.362,75 km de distância percorrida.

3.2. Processamento de variáveis

3.2.1. Excesso de velocidade

O excesso de velocidade foi identificado ao comparar a velocidade praticada da amostra com os limites de velocidade regulamentar das vias. Os dados de limite de velocidade foram coletados do OpenStreetMap (OpenStreetMap Contributors, 2017) combinados com dados do IPPUC (IPPUC, 2021). Pontos posicionados a uma distância acima de 10 metros dos eixos das vias (erro de precisão no GPS), pontos sem informação de limite de velocidade e pontos sem velocidade praticada foram descartados da amostra. A taxa de excesso de velocidade (SP) foi calculada de acordo com a seguinte equação:

$$SP = \frac{D_{sp}}{D_f}; \tag{3.1}$$

onde D_{sp} é a distância percorrida em velocidades acima do limite + 5 km/h e D_f é a distância percorrida em velocidades de fluxo não condicionado, que considera velocidades acima do limite - 10 km/h, representando as situações em que há a oportunidade de excesso de velocidade. Ao analisar o excesso de velocidade, é necessário remover as situações em que os participantes não têm a oportunidade de atingir o excesso de velocidade, devido ao controle de tráfego e/ou possíveis congestionamentos (Richard et al., 2013). Na Fig. 3 pode se observar o processo de extração dessas distâncias. SP pode variar entre 0 e 1, onde 0 representa trechos sem excesso e 1 representa trechos percorridos apenas em excesso de velocidade.

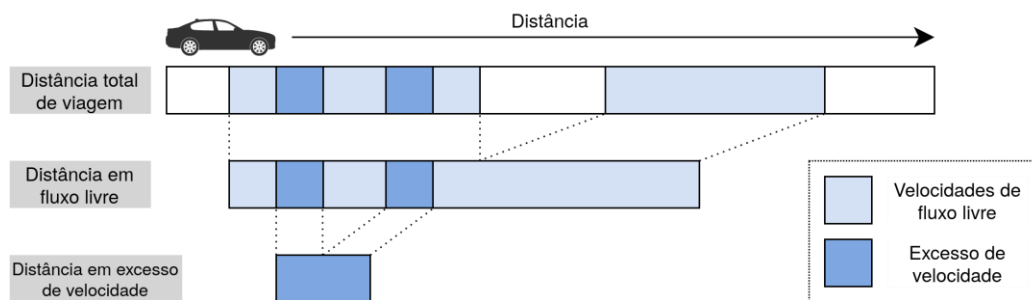


Fig. 3: Extração de distâncias de fluxo livre e trechos de excesso de velocidade. Fonte: Elaboração própria com base em Richard et al. (2013).

3.2.2. Ambiente construído

As variáveis do ambiente construído consideradas neste trabalho estão apresentadas na Tab. 1. As variáveis foram calculadas para cada uma das 135 ZT de Curitiba, extraídas da Pesquisa Origem Destino da cidade (IPPUC, 2018). Os dados de população e renda foram extraídos do último censo (IBGE, 2021). Os dados relacionados ao design de vias (com exceção dos radares), locais de comércios e serviços, pontos de ônibus e zoneamento foram disponibilizados pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC, 2021). A posição de radares foi disponibilizada pela Secretaria Municipal de Defesa Social e Trânsito de Curitiba (SETRAN, 2020).

Categoria	Variável	Descrição [unidade]
Densidade	PD	Densidade populacional [hab./km ²]
Diversidade	LDI	Índice de diversidade do uso do solo
Design	DIS	Densidade de interseções [no./km]
	DSC	Densidade de radares [no./km]
	PAR	Proporção de vias arteriais
Acessibilidade ao destino	DCSU	Densidade de comércios e serviços [no./km ²]
Distância ao transporte	BSD	Densidade de pontos de ônibus [no./km]
Demografia	AVI	Renda média [BRL]

Tab. 1: Variáveis do ambiente construído. Fonte: Elaboração própria.

3.3. Aplicação da RGP

O modelo RGP foi aplicado de acordo com a seguinte equação (Gollini et al., 2013):

$$y_i = \beta_{i0} + \sum_{k=1}^m \beta_{ik}x_{ik} + \epsilon_i; \tag{3.2}$$

em que y_i é a variável dependente no local i , x_{ik} é o valor da k -ésima variável independente no local i , m é a quantidade de variáveis independentes, β_{i0} é o intercepto no local i , β_{ik} é o coeficiente local de regressão para o k -ésimo parâmetro no local i e ϵ_i é o erro aleatório no local i . Antes de aplicar o modelo foi necessário remover as ZT que não incluíam distâncias percorridas em velocidades de fluxo livre. Também foram removidas zonas com menos de 10% da distância percorrida em comparação com a extensão completa de vias da mesma zona. Em adição, foi necessário verificar a colinearidade entre as variáveis independentes

através da correlação de Spearman, removendo aquelas que possuem uma correlação significativa (acima de 0,8) com alguma outra variável (Gollini et al., 2013).

O RGP foi aplicado uma vez para cada tipo de kernel, utilizando uma largura de banda variável. Também foi aplicada uma regressão global, com objetivo de identificar coeficientes estatisticamente significativos e verificar se o RGP apresenta alguma vantagem de desempenho. Para analisar o desempenho dos modelos foi analisado o R^2 , R^2 ajustado, o critério de informação de Akaike corrigido (AICc) e o I de Moran nos resíduos dos modelos. Modelos RGP com baixos valores de I de Moran (ou valores estatisticamente não-significativos) nos resíduos demonstram um bom desempenho de análise espacial.

4. Resultados

A seleção de tempos válidos reduziu a amostra total para 3.459,92 km de distância percorrida dentro de 410 viagens, representando 134,79 horas de tempo de viagem. A filtragem de ZT com o mínimo desejado de distância percorrida total e distância percorrida em fluxo livre resultou na redução de 135 zonas para 107. Assim, a distância da amostra resultou em 3.425,04 km de distância percorrida, incluindo 2.060,31 km de distância com oportunidade de excesso de velocidade e 840,88 km de distância percorrida em excesso de velocidade. Na Fig. 5 está incluído um mapa da taxa de excesso de velocidade (SP) por ZT.

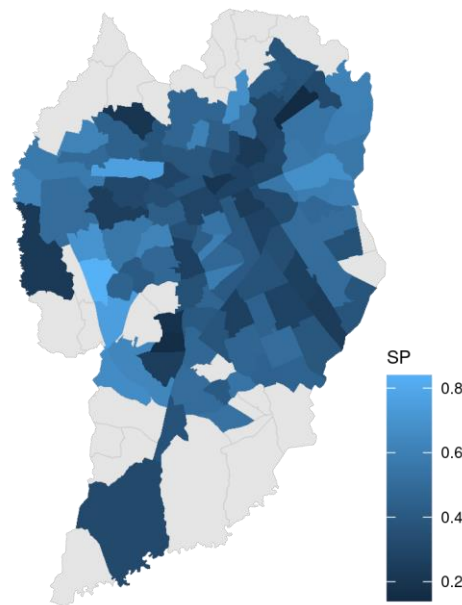


Fig. 5: Taxa de excesso de velocidade por zonas de tráfego. Fonte: Elaboração própria

A Tab. 2 apresenta o diagnóstico dos 5 modelos de RGP e de uma regressão linear. O modelo RGP com o kernel boxcar apresentou o melhor desempenho, considerando os quatro indicadores. Esse modelo apresentou um AICc de -119,306 (quanto menor, melhor), R^2 de 0,465 e R^2 ajustado de 0,329 (quanto mais próximo de 1, melhor). Em relação ao I de Moran, todos os modelos apresentaram um p -valor abaixo de 0,05, mostrando um mal desempenho dos modelos em relação à autocorrelação espacial. Ainda assim, o kernel boxcar apresentou o menor valor, com 0,166 (quanto mais próximo de 0, melhor).

Modelo	Kernel	AICc	R^2	R^2 ajustado	I de Moran	p-valor	Banda
RGP	Gaussiano	-116,050	0,348	0,199	0,195	0,001	37
	Bi-quadrado	-117,757	0,406	0,243	0,174	0,004	94
	Tri-cúbico	-118,337	0,389	0,243	0,176	0,003	94
	Boxcar	-119,306	0,465	0,329	0,166	0,002	39
	Exponencial	-113,918	0,354	0,178	0,201	0,002	60

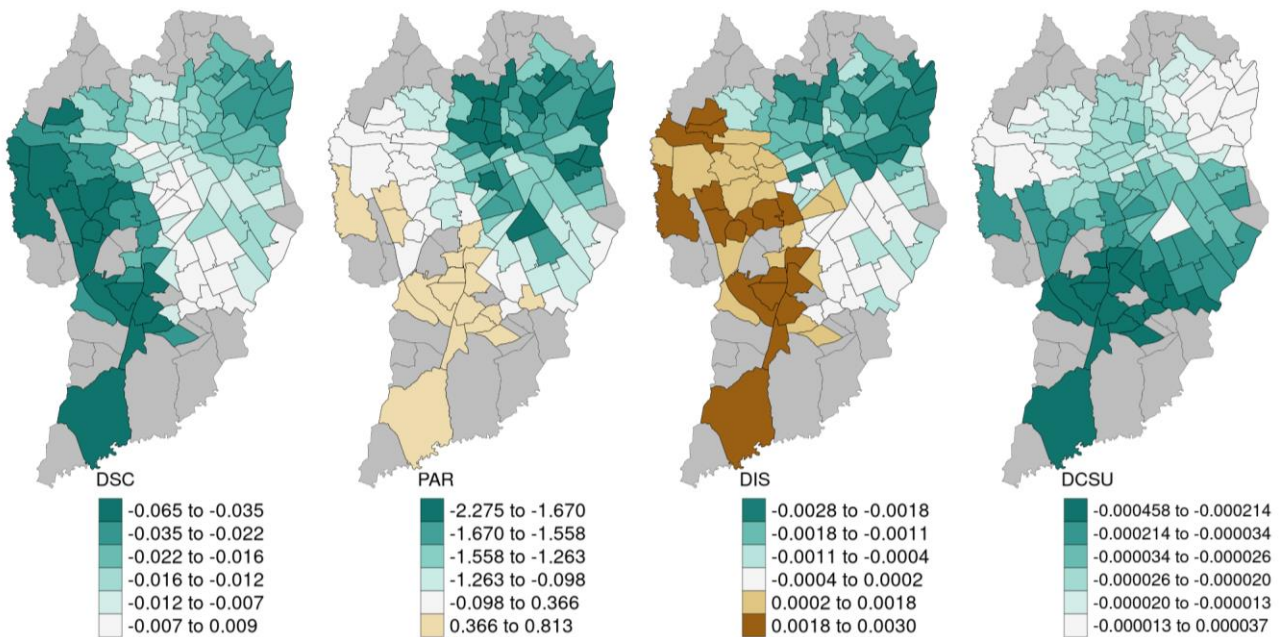
Reg. linear	-	-109,915	0,188	0,121	0,214	0,001	-
-------------	---	----------	-------	-------	-------	-------	---

Tab. 2: Diagnóstico dos modelos. Fonte: elaboração própria.

Em geral, todos os modelos RGP apresentaram melhor desempenho do que a regressão linear global, o que justifica a utilização dos modelos de regressão geograficamente ponderada. A Tab. 3 contém os resultados da regressão linear, com os coeficientes, erros padrão e *p*-valores das variáveis independentes. A única variável estatisticamente significativa a 95% é a densidade de radares (*p*-valor = 0,03), cujo coeficiente apresentou uma correlação invertida com a taxa de excesso de velocidade. A Fig. 7 contém os coeficientes estimados das oito variáveis, mapeados nas zonas de tráfego de Curitiba.

Variável	Coefficiente estimado	Erro padrão	<i>p</i> -valor
Intercepto	4,296e-01	6,904e-02	1,21e-08
Densidade de radares (DSC)	-2,347e-02	1,087e-02	0,0332
Proporção de vias arteriais (PAR)	1,954e-02	2,458e-01	0,9368
Densidade de interseções (DIS)	6,502e-04	6,996e-04	0,3550
Densidade de comércios e serviços (DCSU)	-1,807e-05	1,541e-05	0,2438
Renda média (AVI)	-7,446e-06	9,671e-06	0,4432
Densidade populacional (PD)	-2,393e-06	6,689e-06	0,7213
Índice de diversidade do uso do solo (LDI)	5,063e-02	6,752e-02	0,4551
Densidade de paradas de ônibus (BSD)	2,809e-04	7,577e-03	0,9705

Tab. 3: Resultados da regressão linear



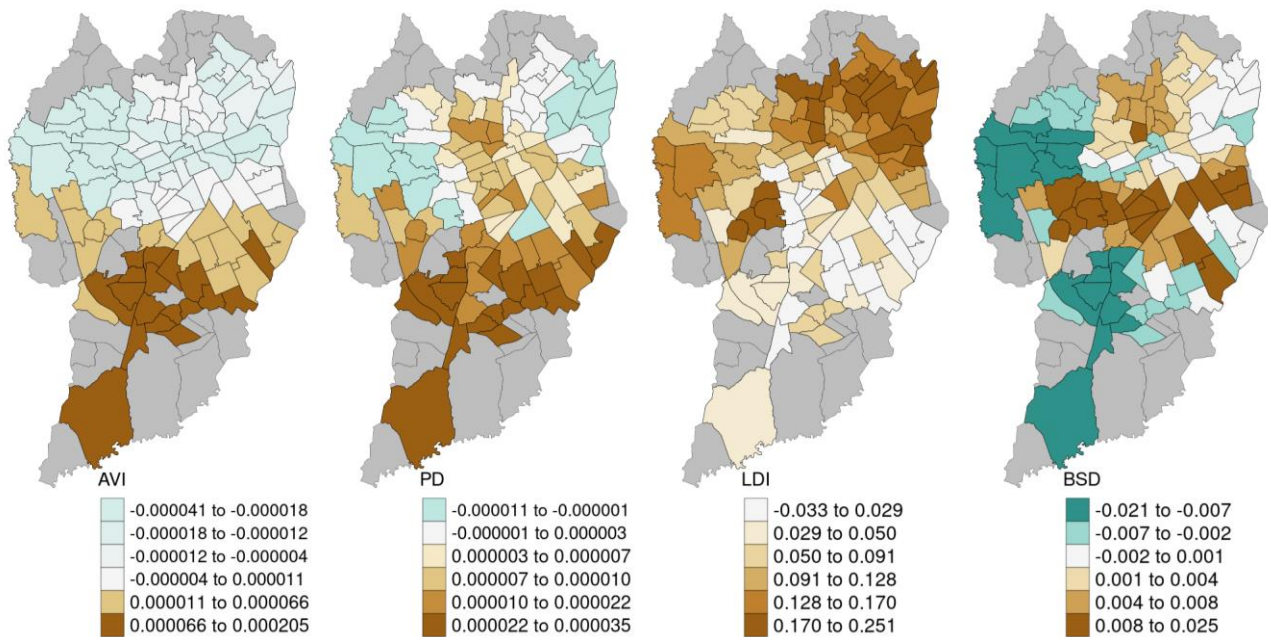


Fig. 7: Coeficientes resultantes da RGP com kernel boxcar. Fonte: Elaboração própria

5. Discussão

Em relação à taxa de excesso de velocidade, se observa na Fig. 5 que as ZT da parte central apresentam menores valores, enquanto as ZT da parte oeste apresentam maiores valores. O baixo índice de excesso de velocidade na parte central pode estar relacionado com a presença da Área Calma de Curitiba, uma região com limites estabelecidos de velocidade a 40 km/h e com maiores concentrações de estratégias de gestão da velocidade. A circulação mais intensa de diversos tipos de usuários nessa região também pode trazer um efeito de redução ao excesso, reduzindo as velocidades de fluxo, ainda que o indicador utilizado no presente trabalho considere apenas as situações em que há a oportunidade de exceder o limite de velocidade.

Os modelos RGP obtiveram um desempenho melhor do que a regressão global, mas nenhum deles pôde prever validamente a heterogeneidade espacial associada à ocorrência do excesso de velocidade em Curitiba. Apenas a variável “densidade de radares”, incluída na categoria de design, apresentou correlação com o excesso de velocidade, com significância estatística de 95% e com 97,2% das ZT apresentando coeficiente negativo, portanto, com uma correlação invertida em relação ao excesso de velocidade. A amostra de dados naturalísticos não foi grande o suficiente para cobrir todo o território da cidade, reduzindo a cobertura de análise de 135 para 107 ZT.

A correlação inversa entre o excesso de velocidade e a presença de radares no ambiente urbano também foi observada por Li et al. (2020), porém, de forma localizada em áreas com raio de 200 m dos radares. Neste trabalho, essa correlação foi verificada em escala territorial. Na Fig. 7 se observa uma maior intensidade da correlação inversa nas ZT ao oeste e ao sul da cidade, quanto na parte central essa correlação é menor.

6. Conclusão

O presente trabalho apresentou a análise da influência do ambiente construído no excesso de velocidade em zonas de tráfego de Curitiba. Foram calibrados cinco modelos de Regressão Geograficamente Ponderada e uma regressão linear global. As variáveis analisadas se encaixam em seis dimensões do ambiente construído: densidade, diversidade, design, acessibilidade ao destino, distância ao transporte e demografia. Dentre todas as variáveis, apenas a densidade de radares, da dimensão design, se apresentou como um preditor estatisticamente significativo. Nenhum dos modelos apresentou um desempenho aceitável em relação ao cenário espacialmente heterogêneo, produzindo resíduos espacialmente dependentes.

Zonas com a maior densidade de radares apresentam um menor excesso de velocidade, assim, representando uma correlação inversa entre as grandezas. Este resultado reforça a importância da adoção da fiscalização eletrônica como uma das estratégias para a gestão de velocidade em áreas urbanas. Esses

resultados são consistentes com estudos anteriores que analisam o efeito de radares de forma localizada. Adicionalmente, a análise do excesso de velocidade utilizando zonas de tráfego como unidades de análise tem como vantagem a integração dos resultados com o planejamento da política urbana e de transportes.

A distribuição espacial do excesso de velocidade (Fig. 5) permite identificar zonas mais críticas em relação a esse fator de risco dentro do território de Curitiba. Isso facilita a implantação de medidas de fiscalização e outros esforços legais para mitigar o excesso de velocidade, com adição de esforços que integram as práticas de planejamento municipais com a gestão de vias de outras esferas, como rodovias estaduais e federais que passam pelo território da cidade.

Observa-se que a amostra atual é relativamente pequena para conduzir uma análise estatisticamente mais robusta. A distância percorrida pela amostra de condutores não foi suficiente para analisar todas as ZT de Curitiba. Portanto, é importante testar novos modelos com uma amostra maior de condutores para que análises mais representativas possam ser obtidas.

Referências

- Borguezani, J. R., dos Santos, P. A. B., 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. http://www.anpet.org.br/anais34/documentos/2020/Tr{\a}fego Urbano e Rodovi{\a}rio/Seguran{\c{c}}a Vi{\a}ria III/5{_}332{_}CT.pdf
- Brunsdon, C., Fotheringham, A. S., & Charlton, M. E. (1996). Geographically Weighted Regression: A Method for Exploring Spatial Nonstationarity. *Geographical Analysis*, 28(4), 281–298. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1996.tb00936.x>
- Carsten, O., Kircher, K., & Jamson, S. (2013). Vehicle-based studies of driving in the real world: The hard truth? *Accident Analysis & Prevention*, 58, 162–174. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.06.006>
- De Vos, J., & Witlox, F. (2013). Transportation policy as spatial planning tool; Reducing urban sprawl by increasing travel costs and clustering infrastructure and public transportation. *Journal of Transport Geography*, 33, 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.09.014>
- Ewing, R., & Cervero, R. (2010). Travel and the built environment: A meta analysis. *Journal of the American Planning Association*, 76(3), 265–294. <https://doi.org/10.1080/01944361003766766>
- Ewing, R., & Dumbaugh, E. (2009). The built environment and traffic safety: A review of empirical evidence. *Journal of Planning Literature*, 23(4), 347–367. <https://doi.org/10.1177/0885412209335553>
- Gollini, I., Lu, B., Charlton, M., Brunsdon, C., & Harris, P. (2013). GWmodel: An R Package for Exploring Spatial Heterogeneity using Geographically Weighted Models. <http://arxiv.org/abs/1306.0413>
- HUANG, Yuan; WANG, Xiaoguang; PATTON, David. Examining spatial relationships between crashes and the built environment: A geographically weighted regression approach. **Journal of Transport Geography**, v. 69, p. 221–233, 2018.
- IBGE. (2021). Censo 2010. Em Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://censo2010.ibge.gov.br/>
- IPPUC. (2018). Apresentação dos resultados da pesquisa origem destino. <https://www.ippuc.org.br/>
- IPPUC. (2021). Dados Geográficos. Em Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. <https://ippuc.org.br/geodownloads/geo.htm>
- Kim, K., Pant, P., & Yamashita, E. (2010). Accidents and Accessibility: Measuring Influences of Demographic and Land Use Variables in Honolulu, Hawaii. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2147(1), 9–17. <https://doi.org/10.3141/2147-02>
- Knoflacher, H. (2016). Road Safety in Urban Areas. Em G. Tiwari & D. Mohan (Orgs.), *Transport Planning & Traffic Safety—Making Cities, Roads & Vehicles Safer* (p. 223–240). CRC Press.
- Li, H., Zhang, Y., & Ren, G. (2020). A causal analysis of time-varying speed camera safety effects based on the propensity score method. *Journal of Safety Research*, 75, 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2020.08.007>
- Mohan, D. (2016). Speed and its Effects on Road Traffic Crashes. Em G. Tiwari & D. Mohan (Orgs.), *Transport Planning and Traffic Safety—Making Cities, Roads and Vehicles Safer* (p. 127–137). CRC Press.

- Obelheiro, M. R., da Silva, A. R., Nodari, C. T., Cybis, H. B. B., & Lindau, L. A. (2020). A new zone system to analyze the spatial relationships between the built environment and traffic safety. *Journal of Transport Geography*, 84, 102699. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102699>
- Obelheiro, M. R., Silva, A. R., & Nodari, C. T. (2019). UMA ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE AMBIENTE CONSTRUÍDO E ACIDENTES DE TRÂNSITO EM ZONAS DE TRÁFEGO. 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, 3696–3707.
- OpenStreetMap contributors. (2017). Planet dump retrieved from <https://planet.osm.org>. <https://www.openstreetmap.org>
- Rhee, K.-A., Kim, J.-K., Lee, Y., & Ulfarsson, G. F. (2016). Spatial regression analysis of traffic crashes in Seoul. *Accident Analysis & Prevention*, 91, 190–199. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.02.023>
- Richard, C. M., Campbell, J., Brown, J., Lichty, M., Chrysler, S., & Atkins, R. (2013). Investigating speeding behavior with naturalistic approaches. *Transportation Research Record*, 2365(2365), 58–65. <https://doi.org/10.3141/2365-08>
- SETRAN. (2020). Speed cameras in Curitiba-PR. Secretaria Municipal de Defesa Social e Trânsito de Curitiba.
- Shinar, D. (2017). *Traffic Safety and Human Behavior* (Second edi). Emerald Group Publishing Limited.
- Wegman, F. (2017). The future of road safety: A worldwide perspective. *IATSS Research*, 40(2), 66–71. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2016.05.003>
- Welle, B., Liu, Q., Li, W., Adiazola-Steil, C., King, R., Sarmiento, C., & Obelheiro, M. (2016). O Desenho de Cidades Seguras. World Resources Institute - Brasil.
- WHO. (2013). Global status report on road safety 2013—Supporting a decade of action (p. 1–318). World Health Organization. http://www.who.int/about/licensing/copyright{\\}_form/en/index.html
- WHO. (2018). Global status report on road safety 2018.