

ANÁLISE DO EFEITO DA INTENSIDADE DA PRECIPITAÇÃO SOBRE A CORRENTE DE TRÁFEGO EM RODOVIAS PAULISTAS

Bolsista: Luiz Henrique de Sene Pereira

Orientador: Prof. Dr. José Reynaldo Setti

Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos

luizhenrique_senne@usp.br

Objetivos

O objetivo deste projeto foi investigar como a intensidade da chuva influencia a operação de rodovias no estado de São Paulo, através da comparação de modelos da corrente de tráfego calibrados com dados coletados sob tempo firme com modelos calibrados com dados coletados sob diversas intensidades de chuva.

Métodos e Procedimentos

O método usado para isso consistiu em três etapas: criação dos bancos de dados, fusão dos bancos de dados, e calibração dos modelos matemáticos que representam o tráfego.

Um banco de dados foi alimentado com dados coletados entre 1/9/2012 e 31/12/2017 por 12 estações permanentes de monitoramento de tráfego (SAT) instaladas em autoestradas e rodovias de pista dupla do estado de São Paulo. Um outro banco de dados foi usado para armazenar dados meteorológicos que indicam a condição do tempo e a intensidade da chuva em cada SAT durante os períodos em que os dados de tráfego foram coletados. Por fim foram calibrados modelos da corrente de tráfego para cada local estudado, que representam a corrente de tráfego sob tempo firme e sob as várias intensidades de chuva.

Os dados meteorológicos foram obtidos a partir das imagens de radares meteorológicos do Centro de Meteorologia de Bauru (IPMET) da UNESP, com imagens geradas em um intervalo de 15 minutos. Nessas imagens, cada pixel corresponde a uma área de $2,5 \times 2,5 \text{ km}^2$, cuja cor

indica a existência e intensidade da chuva, em uma escala com 10 cores diferentes. Um programa codificado em Python foi usado para processar 16.228.963 imagens de radar, lendo-se as cores dos pixels correspondentes à latitude e longitude dos sensores de tráfego.

Uma vez conhecida a condição do tempo para cada intervalo de 15 minutos, a intensidade da chuva no local do sensor foi estratificada com o critério do HCM (Angel et al., 2014), mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação adotada para as chuvas.

	Tipo	Fraca	Moderada	Forte
Intensidade (mm/h)	0,5 – 3	3 – 6	> 6	

Os dados de tráfego, que foram fornecidos pela ARTESP, consistem em: número de veículos comerciais, número de veículos de passeio, e a velocidade média da corrente de tráfego, agregados em intervalos de 15 minutos. Os veículos comerciais foram convertidos em carros de passeio equivalentes (cpe) a partir dos fatores de equivalência definidos pela ARTESP. A densidade k da corrente foi estimada através da relação entre a taxa de fluxo q (cpe/h/fx) e a velocidade média do tráfego u (km/h).

Em seguida, foi feita a fusão dos bancos de dados de chuva e de tráfego, que resultou em 1.126.027 observações, sendo 1.111.334 com tempo bom e 14.693 observações sob tempo chuvoso. Esses dados foram então filtrados e reduzidos para a calibração dos modelos de tráfego.

A filtragem dos dados deveu-se a grande quantidade de dados espúrios que representam

situações de operação anômalas e poderiam enviesar o ajuste do modelo. A redução dos dados garante que o modelo não será enviesado em função do maior número de observações sob tráfego leve. Para isso, eles foram agregados em intervalos de densidade de 0,25 cpe/km/fx e calculou-se o 85º percentil como representativo desse intervalo, adotando a mesma premissa de Cardoso et al. (2021). O 85º percentil da velocidade representa melhor a velocidade média de automóveis, considerando que os valores de velocidade correspondem a uma média entre veículos leves e pesados.

O modelo de tráfego escolhido foi o proposto por Van Aerde (Rakha, 2009), que descreve o comportamento de uma corrente de tráfego através de quatro parâmetros: a velocidade livre (u_f), a densidade de congestionamento (k_f), a capacidade (q_c) e a velocidade na capacidade (u_c). O ajuste desse modelo foi feito através de uma regressão neutra, já que não há variáveis dependentes e independentes nas observações de tráfego (Rakha e Arafah, 2010).

Essa regressão neutra pode ser representada por um problema de otimização que visa minimizar o erro ortogonal em função dos valores dos parâmetros do modelo (Cardoso et al., 2021). O ajuste do modelo foi feito através de um algoritmo evolutivo, com uma população de 30 indivíduos e 1000 gerações, já que o custo computacional desse número de gerações é baixo e um número maior não leva, necessariamente a soluções melhores (Cardoso et al., 2021).

Resultados

A Tabela 2 resume os resultados obtidos, mostrando a redução percentual entre os parâmetros calibrados no modelo considerando as diferentes intensidades de chuva. A Tabela 2 mostra as maiores variações encontradas entre os locais estudados. Pode-se notar que os parâmetros mais afetados pela chuva são a capacidade da via e a velocidade na capacidade. Já a velocidade de fluxo livre não sofreu alterações tão significativas quanto os demais parâmetros. Isso pode ser explicado por representar esta velocidade aquela com que os motoristas costumam trafegar quando o fluxo é próximo a zero, de forma que chuva pode não interferir de forma significativa na sensação de segurança. A densidade de congestionamento parece não ser afetada pela chuva, o que faz sentido, pois

nessa condição todos os veículos estão parados.

A Tabela 2 também mostra que há um efeito da intensidade da chuva e que chuvas mais intensas causam uma redução bem maior nos valores dos parâmetros dos modelos.

Tabela 2: Variação percentual dos parâmetros calibrados em função da intensidade da chuva, em relação aos valores para tempo firme (sem chuva).

Parâmetro	Chuva fraca	Chuva moderada ou forte
u_f	-3%	-9%
u_c	-18%	-31%
q_c	-22%	-40%

Conclusões

Pode-se concluir que de forma geral, as intensidades diferentes de chuva afetam de forma diferente o comportamento dos motoristas e os parâmetros da via como capacidade, densidade e velocidade. Verificou-se que chuvas fracas reduzem até 22% a capacidade da via, enquanto em caso de chuvas moderadas e fortes essa redução pode chegar a 40%, demonstrando que a intensidade da precipitação tem interferência direta sobre a corrente de tráfego.

Referências Bibliográficas

- Angel, M. L. et al. (2014). Effects of rain on traffic operations on Florida freeways. *Transportation Research Record*, 2440(1)51–59. doi:10.3141/2440-07.
- Cardoso, J. M., L. Assirati, e J. R. Setti (2021) Calibration of the empirical fundamental relationship using very large databases. *Transportes*, 29(1)212–228. doi: 10.14295/transportes.v29i1.2317.
- Rakha, H. (2009) Validation of Van Aerde's simplified steady-state car-following and traffic stream model. *Transportation Letters*, 1(3)227–244. doi:10.3328/TL.2009.01.03.227-244.
- Rakha, H. & M. Arafah (2010) Calibrating steady-state traffic stream and car-following models using loop detector data. *Transportation Science*, 44(2)151–168. doi: 10.1287/trsc.1090.0297