

INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA FREQUÊNCIA DE ACIDENTES COM MOTOCICLETAS EM ÁREAS URBANAS

Gabriela Gomes Soares Rezende

Bruna Mendes Forte

Flávio José Craveiro Cunto

Departamento de Engenharia de Transportes

Universidade Federal do Ceará

Marcos José Timbó Lima Gomes

Universidade Federal do Cariri

RESUMO

A presença de precipitações pluviométricas pode afetar os níveis de segurança viária e poucos estudos avaliaram o impacto das chuvas em acidentes envolvendo motocicletas. Um desafio destes estudos é considerar uma possível redução na demanda de motocicletas ocasionadas pelas precipitações. Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o impacto de diferentes intensidades e durações pluviométricas na probabilidade da ocorrência de acidentes envolvendo motocicletas em Fortaleza. Consolidou-se um banco de dados contendo precipitações, acidentes e a redução do fluxo de motocicletas em período chuvoso. Foram estimados grupos de modelos com a regressão logística binária, sendo um grupo sem incorporar a redução do fluxo de motocicletas e o outro considerando esta correção. Os resultados mostram que a chance de ocorrer um acidente envolvendo motocicleta com vítima ferida cresce com a intensidade e duração das precipitações e o risco aumenta quando se considera o efeito da redução da demanda.

ABSTRACT

The presence of rainfall can affect road safety levels and few studies have evaluated the impact of rainfall on motorcycle accidents. One challenge of these studies is to consider a possible reduction in the demand of motorcycles caused by precipitation. The present study aims to evaluate the impact of different intensities and rainfall durations in the probability of accidents involving motorcycles in Fortaleza city. A database containing precipitation, accidents and traffic counts in rainy periods was consolidated. Groups of models with binary logistic regression were estimated, one group without incorporating the reduction of motorcycle flow and the other considering this correction. The results show that the chance of a motorcycle injury crash increases with the intensity and duration of rainfall and the risk increases when considering the effect of reducing demand.

1. INTRODUÇÃO

No ambiente de circulação brasileiro e em termos de representação na frota de veículos, as motocicletas não apresentam o mesmo ritmo de crescimento observado na primeira década do novo milênio em que sua frota tinha uma taxa de crescimento duas vezes maior que a taxa observada para as outras categorias veiculares. Entretanto, mesmo em ritmo desacelerado, entre 2008 e 2018, a frota de motocicletas registradas dobrou enquanto as outras categorias cresceram em torno de 80% (DENATRAN, 2019). Em Fortaleza o crescimento da frota de motocicletas foi três vezes maior que o crescimento da frota de automóveis, considerando o período de 2007-2017 (PMF, 2017).

O aumento da frota de motocicletas é atribuído a fatores como baixa atratividade e deficiência do sistema de transporte público das cidades brasileiras em geral; baixo custo aliado a facilidade de crédito para aquisição de motocicletas; habilidade para deslocamento em congestionamentos, facilidade para estacionar e custo reduzido em relação ao consumo de combustível por quilômetro (Ferreira, 2009; Vasconcellos, 2013; Holz, 2014) Esse crescimento associado a vulnerabilidade de seus usuários e ao uso frequente envolvendo atividades remuneradas em função da quantidade e tempo das entregas, contribuem para um

cenário com potencial para a ocorrência de acidentes de trânsito. Em Fortaleza, no ano de 2017 foram registrados quase 5 mil acidentes envolvendo motociclistas com vítimas feridas e fatais. Esse número representa 24,5% dos acidentes registrados na cidade (PMF, 2017).

Condições atmosféricas adversas podem influenciar consideravelmente o desempenho de segurança viária de todos os veículos, seja levando em consideração fatores (i) infraestrutura/veicular como a combinação do atrito entre os pneus e a via ou (ii) fatores humanos como o comportamento dos condutores (Costa, 2017). A frequência de acidentes em pistas molhadas pode chegar a ser quatro vezes maior àquela encontrada em pavimento seco (Wambold e Kulakowski, 1986) e as vias molhadas podem contribuir para aumentar a frequência de colisões de maior severidade (Caliendo *et al.*, 2007). Nesse contexto, o ajuste comportamental de condução, normalmente representado pela redução da velocidade e/ou espaçamento longitudinal entre veículos pode não ser adequado o suficiente para compensar problemas de visibilidade e redução do atrito superficial do pavimento.

Dentre os desafios para avaliar os efeitos de condições atmosféricas adversas na frequência e severidade dos acidentes com motos, encontra-se a dificuldade em considerar uma possível redução na demanda desse modo de transporte em função da intensidade e duração da chuva, além dos desafios inerentes à natureza aleatória e rara dos acidentes de trânsito. Apesar da literatura existente sobre a influência de condições adversas na frequência e severidade dos acidentes, estudos com foco na ocorrência de acidentes envolvendo motocicletas ainda é pouco abordada. Em função da contextualização da problemática apresentada, este trabalho propõe avaliar o impacto de diferentes intensidades pluviométricas na probabilidade da ocorrência de acidentes envolvendo motocicletas no ambiente urbano de Fortaleza.

2. INFLUÊNCIA DE CONDIÇÕES AMBIENTAIS ADVERSAS NO DESEMPENHO DA SEGURANÇA VIÁRIA EM ÁREAS URBANAS

Vários estudos procuraram avaliar a relação entre as mais diversas variáveis climáticas e a ocorrência de acidentes, no entanto, os efeitos de precipitação (chuva e neve) mostraram-se os mais comumente utilizados (Smith, 1982; Scott, 1986; Edwards, 1996). Andrey e Yagar (1993) mostraram que o risco geral de acidentes em condições de chuva foi 70% maior que em condições de tempo seco, havendo a redução do risco de forma imediata quando a chuva é interrompida, ainda que os efeitos da mesma persistam sobre o pavimento. Hermans *et al.* (2017) observaram que dez minutos adicionais na duração da precipitação aumentam em média 6,5% o número de acidentes, enquanto uma quantidade maior de precipitação possui um impacto menor.

Apesar da maioria dos estudos apresentarem correlação positiva entre a presença de chuva e o risco de acidentes, ao avaliar a sua severidade, a literatura apresenta algumas contradições. Edwards (1998) mostrou que a severidade do acidente diminui significativamente na chuva em comparação com o tempo seco. Por outro lado, o risco de acidentes com feridos se apresentou duas a três vezes maiores em condições de chuva no estudo de Brodsky e Hakkert (1988). Eisenberg (2004) utilizando o modelo de regressão binomial negativa avaliou a relação entre a precipitação de chuva em centímetros e a ocorrência de acidentes a partir de dados agregados diariamente e mensalmente, encontrando, no nível de agregação diário, uma forte relação com a ocorrência de acidentes fatais.

Ressalta-se que, apesar de ser perceptível o interesse em avaliar os efeitos de variáveis meteorológicas em acidentes de todo tipo, a literatura carece de estudos que procuram avaliar os efeitos destas para acidentes com motocicletas de maneira isolada. Utilizando uma abordagem hierárquica Bayesiana, Cheng *et al.* (2017) avaliaram a influência de variáveis como temperatura, umidade e precipitação considerando quatro níveis de gravidade para acidentes com motocicletas (fatal, lesão grave, moderada e leve). O estudo mostrou que a temperatura reduz a possibilidade de acidentes fatais, no entanto, para os demais níveis de gravidade, observou-se o contrário. Já a umidade não mostrou ter forte impacto na ocorrência de acidentes com motos. Quando avaliada a influência da precipitação, levando em consideração a mudança na demanda do fluxo de motocicletas, observou-se que a presença de chuva diminui a possibilidade de ocorrência de acidentes para todos os níveis de severidade.

Também, embora haja preocupação no desenvolvimento de estudos em relação à incorporação das condições climáticas para um comportamento proativo em ações de segurança viária, ainda são escassos estudos que procuram compreender os efeitos destas no ambiente urbano (Andrey *et al.*, 2003; Hambly *et al.*, 2013). Jaroszweski e McNamara (2014) avaliaram comparativamente as taxas relativas de acidentes em meio urbano (razão entre acidentes com chuva e acidente com tempo seco), obtidas através de dois métodos de coleta de dados: estações meteorológicas tradicionais e imagens de radar meteorológico. Os resultados indicaram uma diferença entre acidentes para a cidade de Manchester de 1,50 (estação) para 1,82 (radar) e uma diferença negativa de 1,18 (estação) para 0,97 (radar) na cidade de Londres. A divergência nos resultados foi atribuída a existência de variação do comportamento dos condutores e da geografia local, bem como a escolha modal nas duas cidades.

Ferreira *et al.* (2017) utilizaram dois modelos com base na regressão de Poisson e binomial negativa para analisar os acidentes com vítimas e danos materiais, respectivamente. O estudo, realizado em meio urbano, considerou além da precipitação com agregação diária, semanal e mensal, o efeito do período que precede ao acidente (efeito defasado). Dentre os resultados, ressalta-se que o aumento da precipitação diária contribuiu para o aumento dos acidentes com vítimas de cerca de 0,2% quando a precipitação aumenta 10%, tendo os acidentes com danos materiais aumentado em torno de 0,3% para o mesmo aumento da precipitação. Além disso, com o aumento de 10% da precipitação ocorrida nos 30 dias precedentes, verificou-se um decréscimo de cerca de 0,7% e de 0,2% nos acidentes com vítimas e só com danos materiais, respectivamente.

3. MÉTODO

A proposta de avaliação dos impactos de condições de chuva nos acidentes com motocicletas em áreas foi efetivada de acordo com as seguintes etapas metodológicas: 1) Definição de macrozonas de análise (MA) em função da distribuição espacial das estações pluviométricas do CEMADEN; 2) Consolidação dos bancos de dados de acidentes de trânsito para as macrozonas de análise; 3) Estimativa da redução da demanda por motocicletas em função da intensidade pluviométrica e; 4) Desenvolvimento dos modelos de regressão logística binária do tipo logit. O fluxograma da Figura 1 apresenta as etapas metodológicas proposta.

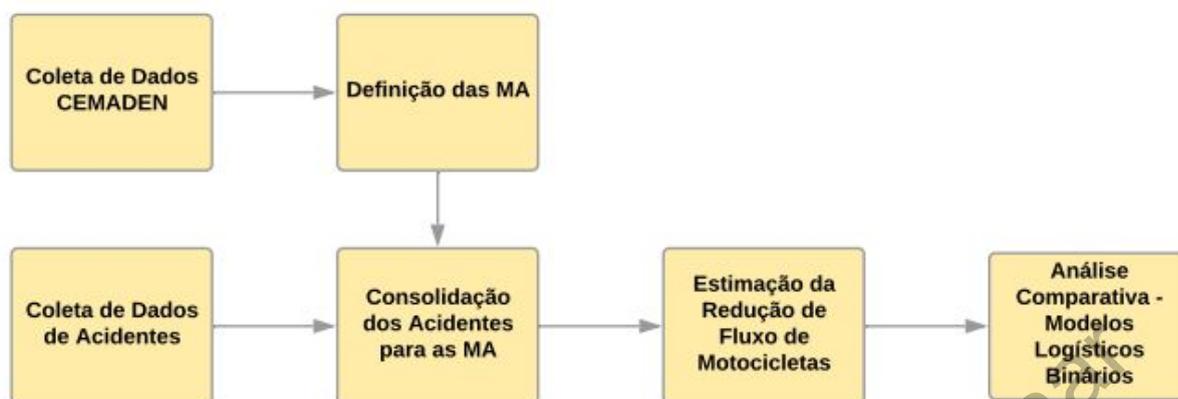


Figura 1: Fluxograma das etapas metodológicas

3.1 Definição de macrozonas de análise (MA)

Em virtude de possíveis variações entre o nível de chuva em diferentes estações na cidade, foram definidas agregações espaciais de interesse, denominadas macrozonas de análise (MA). A definição das MA foi realizada a partir dos dados referentes às precipitações pluviométricas fornecidas pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN para os anos de 2016, 2017 e 2018.

Os arquivos do CEMADEN, em formato txt, contêm informações de coordenadas das estações pluviométricas, seu código, bairro em que se localiza e suas precipitações horárias para todos os dias do ano. Com estas informações, criou-se um banco dados único, no *software* Microsoft Access, contendo as precipitações horárias das estações pluviométricas disponíveis para o período.

Nas estações pluviométricas obtêm-se precipitações pontuais e para que estas medições tenham representatividade espacial, os estudos hidrológicos utilizam-se dos polígonos de Thiessen. Assim, cada estação delimita uma região e representa a área de influência do posto. A Figura 2 mostra as 14 estações georreferenciadas com seus respectivos polígonos de Thiessen na cidade de Fortaleza.

3.2 Consolidação dos bancos de dados de acidentes de trânsito para as macrozonas de análise

O observatório de Segurança Viária de Fortaleza forneceu os acidentes de trânsito georreferenciados do município para o período de 2016 a 2017. Os dados de acidentes para o ano de 2018 foram fornecidos pelo Sistema de Informações de Acidentes de Trânsito de Fortaleza (SIAT/FOR). Destas amostras foram selecionados somente os acidentes que havia o envolvimento de motocicletas ou ciclomoteres. A associação espacial entre as MA e os acidentes foi obtida com o auxílio do aplicativo Qgis.

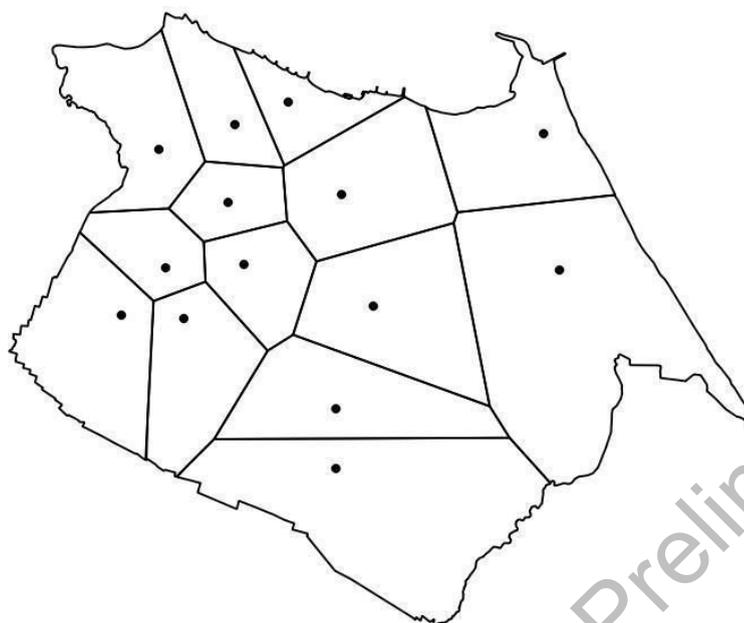


Figura 2: Polígono de Thiessen das estações pluviométricas

Tendo a localização espacial dos acidentes, foi elaborada uma planilha que unia as informações das precipitações e o número de acidentes agregados por hora, ao longo dos anos, para cada macrozona. Os acidentes foram divididos em acidentes totais, com vítimas feridas e fatais.

3.3. Estimação da redução da demanda por motocicletas em função da intensidade pluviométrica

Durante a preparação do estudo, uma hipótese inicial levantada foi a de que o fluxo de motos poderia ser afetado pela ocorrência das chuvas, podendo assim ser uma variável que teria influência no resultado da análise. Para avaliar esse efeito, estimou-se a diferença entre o percentual de motos no fluxo veicular entre períodos com e sem precipitação. Para tanto, foram utilizadas câmeras de monitoramento de trânsito instaladas em algumas interseções semaforizadas da cidade de Fortaleza como parte do sistema de Controle de Tráfego em Área de Fortaleza, o CTAFOR.

Os vídeos disponibilizados correspondem a dias úteis (segunda a sexta-feira) dos anos de 2018 para o período seco e 2019 para os dias com chuva de 16 interseções localizadas em sete MA nas áreas central e sul da cidade. A utilização dos dois anos partiu da premissa de que de um ano para o outro a frota de motocicletas não mudou consideravelmente.

Foram realizadas contagens volumétricas classificatórias (carros, caminhões e motocicletas) para períodos secos e com chuva em 30 intervalos de 15 minutos para cada condição meteorológica. Para a obtenção da proporção de motocicletas em relação aos outros modais (carros e caminhões) nos dois períodos, procurou-se fazer a contagem no mesmo horário do dia (mesmo intervalo).

Com base nos dados obtidos pela contagem nos dois períodos de análise, foram calculadas as diferenças entre as proporções de motocicletas para cada interseção em seu respectivo período. Para as interseções com mais de um período de observação o valor médio da redução foi utilizado, sendo então estimadas as reduções para cada uma das MA como a média dos valores encontrados para cada interseção dentro de sua área correspondente.

3.4. Desenvolvimento dos modelos de regressão logística binária do tipo logit

Neste estudo, para a avaliação do impacto da pluviometria na probabilidade de ocorrência de acidentes envolvendo motocicletas, foi utilizada a regressão logística binária do tipo logit. O principal objetivo deste modelo é estudar a probabilidade de ocorrência de um evento definido por y que se apresenta na forma qualitativa dicotômica, sendo $y = 0$ quando o evento não ocorre e $y = 1$ quando o evento ocorre. A formulação do modelo adotado neste estudo é apresentada a seguir:

$$\text{logit}(p_i) = \ln\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (1)$$

onde

p_i = probabilidade de ocorrência do evento de interesse para cada observação;

β' = vetor dos coeficientes a serem estimados;

X_i = vetor das variáveis explicativas, que podem ser medidas contínuas ou do tipo categóricas *dummies*.

Na equação 1, o termo a esquerda, denominado logit, corresponde a razão da probabilidade de ocorrência do evento sobre a probabilidade da não ocorrência, sendo conhecido como razão de chances de ocorrência ou *odds ratio* (OR). A função OR indica quantas vezes a chance de ocorrer um evento analisado para um determinado conjunto de dados é maior ou menor do que para um outro conjunto de dados de referência.

A utilidade do modelo foi avaliada com testes comparativos qui-quadrado entre os modelos propostos e o modelo nulo (somente intercepto) e o modelo saturado (modelo com número de variáveis equivalente ao número de observações). De maneira ideal, espera-se que o modelo proposto seja melhor que o modelo nulo e não seja diferente do modelo saturado. Para medir a qualidade do ajuste do modelo usou-se o pseudo- R^2 de McFadden. Na regressão logística essa métrica é quase sempre muito baixa e sua utilidade é bastante limitada, mas pode ser usada como critério para escolha de um modelo em detrimento de outro.

Nos modelos de previsão de acidentes a variável de exposição é considerada a mais importante, sendo comumente utilizado o volume de tráfego. Em decorrência de limitações, o volume de tráfego de motocicletas não está disponível para este estudo e por isso foi considerado a extensão total de vias em quilômetros (EXT_TOT) dentro da macrozona. Neste caso, a hipótese é que quanto maior a extensão de vias da macrozona, mais motocicletas podem trafegar e maior a exposição aos acidentes.

Para avaliar o efeito da redução da demanda de motocicletas no risco de acidentes no período chuvoso, criou-se uma variável alternativa de exposição (EXP_CHUVA), que é o produto entre a extensão total de vias e a redução média do fluxo de motocicleta dentro da macrozona. Dessa forma, serão criados dois grupos de modelos: i) modelos sem alteração da demanda,

usando a variável de exposição EXT_TOT; ii) modelos com alteração da demanda, tendo como variável de exposição EXP_CHUVA.

Para inserir as precipitações nos modelos, foram consideradas chuvas como eventos de impacto no comportamento do motociclista e na possível condição escorregadia do pavimento, somente quando maior ou igual a 1,0 mm/h (Costa, 2017). As precipitações pluviométricas foram agrupadas em três classes de intensidade, conforme estudo de Billot *et al.* (2009): i) leve (entre 1,0 e 2,0 mm/h); ii) moderada (entre 2,0 e 3,0 mm/h); iii) intensa (maior que 3,0 mm/h).

As classes de precipitações foram transformadas em três categorias de variáveis *dummy*, recebendo o código 1 se a precipitação estiver dentro da classe considerada e código 0 em caso contrário. Além destas, criou-se uma quarta categoria para comparar o efeito do tempo de chuva nos acidentes. Para esta classe codificou-se 1 para precipitações que tiveram até 3 horas de duração e 0 em caso contrário. Dessa forma será possível comparar estas classes com a categoria base de referência que é quando não houve chuvas.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção são apresentados e analisados os resultados das etapas metodológicas propostas. Primeiramente, é realizada uma breve descrição dos dados de precipitação e acidentes. Em seguida, é feita uma análise da redução da demanda por motocicletas nas MA devido à condição de chuva. Por último, os resultados provenientes da técnica de modelagem utilizada são apresentados.

O banco de dados de precipitações e acidentes permitiu definir uma amostra com 162.139 intervalos horários considerando os anos de 2016 a 2018. Em 2016, 2017 e 2018 foram respectivamente 57.056, 58.992, 46.091 horas válidas. A diferença entre o número de horas do espaço amostral entre os anos deve-se a ausência de registros no banco de dados do CEMADEN. A Figura 3 apresenta a distribuição percentual das observações com e sem a ocorrência de chuva e a distribuição do percentual de ocorrência de pelo menos um acidente de trânsito de acordo com a condição pluviométrica.

Percentual de horas de observações

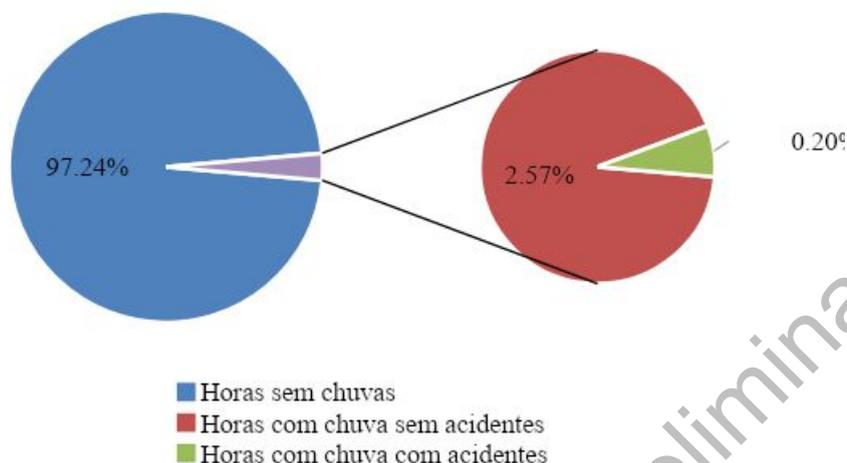


Figura 3 - Percentual de horas de observações por condição pluviométrica e ocorrência de acidentes

Conforme descrito na metodologia, os dados de precipitação foram categorizados em 3 classes de intensidade e uma classe de duração. As variáveis utilizadas foram divididas em quatro categorias e a Tabela 1 apresenta a descrição das variáveis utilizadas e uma análise descritiva dos valores de tendência central e dispersão.

Tabela 1: Consolidação dos bancos de dados de precipitações e acidentes

Categoria	Variável	Descrição	Média	Desvio Padrão
Acidentes	ACFERIDO	acidentes envolvendo motocicletas com feridos	0,06	0,25
Variável de Exposição	EXT_TOT	extensão total de via (km)	254,60	77,32
	EXP_CHUVA	exposição durante a chuva (km)	242,34	76,23
Precipitações	P_LEVE	precipitação entre 1 e 2 mm/h	0,03	0,16
	P_MODERADA	precipitação entre 2 e 3 mm/h	0,02	0,12
	P_INTENSA	precipitação maior que 3 mm/h	0,01	0,10
Duração das precipitações	DURAC	duração das precipitações de até 3 horas	0,03	0,16

A redução da demanda em função da ocorrência de chuva foi estimada com a utilização dos vídeos em interseções disponibilizados pelo CTAFOR em somente 7 macrozonas. Foram contabilizados 30 intervalos de 15 minutos para todas as 16 interseções. A distribuição do número de intervalos, a média percentual de redução de macrozona correspondente (representada pela estação) encontra-se na Figura 4.

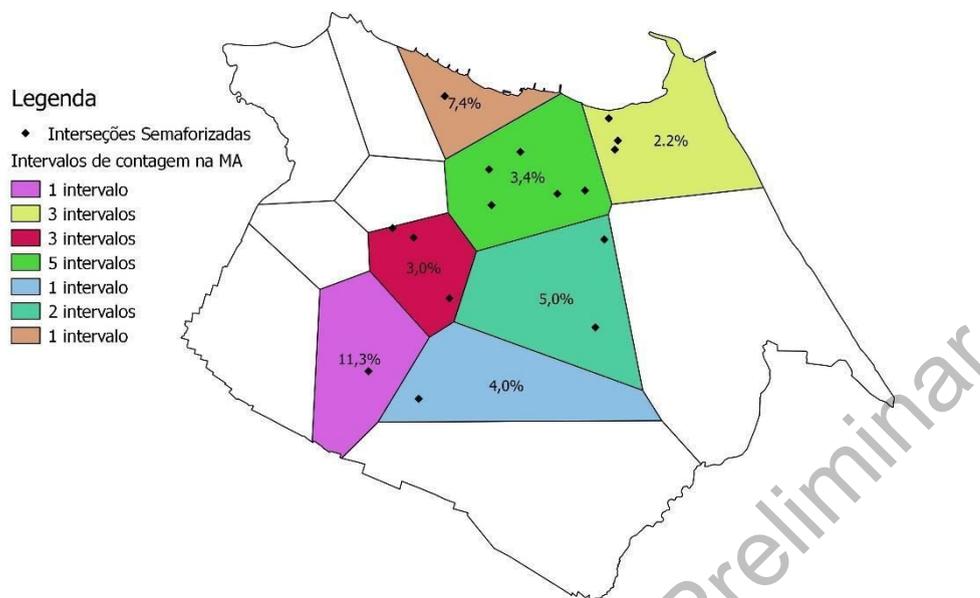


Figura 4: Localização das interseções, número de intervalo de contagem e média da redução do fluxo para cada MA

A redução média na proporção de motocicletas com chuva foi consistente na maioria das interseções, corroborando com a hipótese de que a presença de chuva altera o fluxo de motocicletas. Apenas uma interseção (Av. João Pessoa x Av. Carneiro de Mendonça) apresentou um intervalo de 15 minutos com valor próximo a estabilidade (-0,3%) entre o fluxo no período seco e com chuva.

Em virtude do tamanho da amostra não foi possível a realização de um teste de inferência quanto a diferença de proporção entre as duas populações, seja considerando interseções ou MA. Entretanto, realizou-se o teste para a proporção geral das observações encontrando-se o valor médio de 4,34% como sendo significativo (valor-p 0,01).

Na estimação dos modelos propostos foram inseridas todas as variáveis explicativas relacionadas a precipitação pluviométrica, além das variáveis para representar a exposição espacial (extensão de vias dentro das MA) e de redução do fluxo de motocicleta (alteração da demanda pela chuva). As variáveis de exposição conforme descrito na seção 3.4 serviram para verificar comparativamente se o ajuste na demanda altera o *Odds Ratio* (OR) entre as categorias de chuva.

A Tabela 2 mostra os coeficientes, erros padrões e *odds ratio* para os modelos estimados. Os resultados indicam que para o modelo 1, as chances de acontecer um acidente com motocicleta com vítima ferida cresce à medida que a intensidade das precipitações aumenta. Assim, para precipitações leves essa chance aumenta em 18%, 24% para precipitações moderadas e 38% para chuvas intensas. No modelo 2 também há um aumento das chances de acidentes com o aumento da precipitação, porém esse aumento é maior, visto que houve uma redução na exposição. Esse aumento varia de 7 a 8% quando se comparam as mesmas classes de intensidade de chuva dos modelos 1 e 2.

Tabela 2: Estimativa dos parâmetros dos modelos logit com classes de precipitações

Parâmetro	Modelo 1 (Sem alteração da demanda)			Modelo 2 (Com alteração da demanda)		
	β	EP	Odds Ratio	β	EP	Odds Ratio
Constante	-18,79**	0,21	6,91E-9	-18,78**	0,21	6,97E-9
ln (EXT_TOT)	1,07**	0,04	2,92			
ln (EXP_CHUVA)				1,07**	0,04	2,91
P_LEVE	0,17*	0,09	1,18	0,22**	0,09	1,25
P_MODERADA	0,22*	0,14	1,24	0,27**	0,14	1,32
P_INTENSA	0,32**	0,09	1,38	0,37**	0,09	1,46

*coeficientes significativos ($\alpha=0,10$)

**coeficientes significativos ($\alpha=0,05$)

A avaliação do efeito da duração das precipitações nos acidentes de motocicletas foi feita inicialmente em conjunto com todas as variáveis, entretanto, a variável DURAC não foi significativa ($\alpha=0,10$). Desta forma, a avaliação do impacto da duração das chuvas nos acidentes com motocicletas foi executada em um modelo isolado (Tabela 3). Os resultados indicaram que as chances de acidentes com motos em dias chuvosos crescem em torno de 44% quando foram observadas chuvas com duração de até 3 horas. Além disso, houve ainda um pequeno aumento (4%) das chances de ocorrer acidentes nestas situações após a redução da demanda de motocicletas.

Tabela 3: Estimativa dos parâmetros dos modelos logit com a duração das precipitações

Parâmetro	Modelo 3 (Sem alteração da demanda)			Modelo 4 (Com alteração da demanda)		
	β	EP	Odds Ratio	β	EP	Odds Ratio
Constante	-18,77**	0,21		-18,77**	0,21	
ln (EXT_TOT)	1,07**	0,04	2,91			
ln (EXP_CHUVA)				1,06**	0,04	2,9
DURAC	0,36**	0,06	1,44	0,39**	0,06	1,48

**coeficientes significativos ($\alpha=0,05$)

Foram feitos os testes de significância para todos os modelos estimados, comparando-os ao modelo nulo sendo todos significativos (valor-p $\leq 0,05$), confirmando que as variáveis independentes melhoram o ajuste do modelo. Os testes comparativos entre modelos estimados e saturados indicaram, com nível de significância de 0,05, que não há diferenças, sendo preferível os modelos propostos por serem mais simples.

Em relação ao ajuste dos modelos, os valores do pseudo- R^2 (0,012) são baixos quando comparados a valores considerados aceitáveis para essa métrica nos modelos logísticos binários (entre 0,1 e 0,2). Neste caso, os resultados indicaram que a razão entre a verossimilhança do modelo nulo e do modelo proposto foi próxima a 1, sendo esta razão consideravelmente influenciada pela grande quantidade de observações e em virtude do desbalanceamento entre as observações com e sem a ocorrência do evento. Trata-se também de um indício de que, embora seja reconhecida a influência da precipitação, o modelo não deve ser utilizado com fins preditivos, pois carece de variáveis que ajudem a explicar melhor a proporcão de ocorrência de acidentes ao longo de períodos horários.

5. CONCLUSÕES

Vários estudos já foram realizados para investigar o impacto das condições meteorológicas adversas na ocorrência de acidentes de trânsito. A presença de precipitações pluviométricas pode afetar os níveis de segurança devido a redução de visibilidade, menor aderência dos pneus ao pavimento e alterações comportamentais dos condutores. Entretanto, poucos estudos analisaram o impacto destas condições climáticas em acidentes envolvendo motociclistas, mesmo sendo eles usuários mais vulneráveis nestas situações. O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência das precipitações na ocorrência de acidentes de trânsito envolvendo motocicletas, no ambiente urbano de Fortaleza.

Foi consolidado um banco de dados contendo precipitações horárias, acidentes com vítimas feridas envolvendo motocicletas e a redução do fluxo de motocicletas em período chuvoso. Estimaram-se dois grupos de modelos de regressão logística binária para avaliar o impacto da intensidade e duração das precipitações nos acidentes. A análise foi feita de forma comparativa, tendo o primeiro grupo de modelos uma variável de exposição que não considera mudança na demanda de motocicletas devida à existência de chuvas e o segundo grupo apresenta uma exposição que incorpora a redução do fluxo.

Os resultados dos modelos mostraram que a chance de acontecer um acidente envolvendo motocicleta com vítima ferida cresce à medida que a intensidade das precipitações aumenta. Quando foi considerada a redução do volume motocicletas, os modelos indicaram uma maior chance de ocorrer acidentes apresentando um aumento de 7 a 8% quando se compara o mesmo nível de precipitação. Em relação ao efeito do tempo de precipitação na ocorrência de acidentes, os modelos indicaram que chuvas com duração de até 3 horas aumentam a chance de acidentes, mas o aumento das chances após a alteração da demanda foi de apenas 4%.

Apesar dos indícios encontrados de alteração na demanda com moto em função da chuva, o espaço amostral deste trabalho não permitiu que fossem estimados fatores de ajuste para diferentes intensidades de chuva. Além disso, a disponibilidade de câmeras de monitoramento limitou espacialmente a abrangência do estudo a 7 macrozonas, a aproximadamente 43% da área de Fortaleza. Outra limitação é a inexistência da variável fluxo de motocicletas tanto para os períodos secos quanto para os chuvosos, que seria mais adequado para considerar a exposição das motocicletas nos modelos.

Recomendam-se estudos adicionais para avaliar o efeito sazonal das precipitações nos acidentes envolvendo motocicletas. As chuvas no Ceará concentram-se principalmente nos meses de fevereiro a maio, portanto os usuários dirigem com muito mais frequência em

períodos secos e esta exposição sazonal pode afetar o comportamento do motociclista no início da estação chuvosa. Além desse aspecto, seria também importante avaliar o efeito nos acidentes das precipitações com a agregação diária. Neste estudo considerou-se essa possibilidade, mas devido às limitações dos dados de tráfego nos períodos com e sem chuva, não foi possível determinar de forma adequada a redução na demanda de motocicletas para a precipitação diária.

Visando ainda uma melhor estimativa dos efeitos das precipitações nos acidentes com motocicletas entre macrozonas, recomendam-se trabalhos futuros que considere o caráter espacial, como por exemplo, a estimação de modelos locais por meio da regressão logística geograficamente ponderada. A utilização de modelos locais permitiria considerar mais eficientemente a heterogeneidade espacial dos dados, identificando as chances de ocorrência de acidentes individualmente para cada macrozona.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrey, J., Mills, B., Leahy, M., e Suggett, J. (2003) Weather as a chronic hazard for road transportation in Canadian cities. *Natural Hazards*. v.28 (2-3), p. 319-343 doi:10.1023/A:1022934225431
- Andrey, J., e Yagar, S. (1993) A temporal analysis of rain-related crash risk. *Accident Analysis & Prevention*, v.25, n.4, p. 465–472. doi:10.1016/0001-4575(93)90076-9.
- Billot, R.; El-Faouzi, N. E.; De Vuyst, F. (2009) Multilevel Assessment of the Impact of Rain on Drivers' Behavior – Standardized Methodology and Empirical Analysis. *Transportation Research Record*, n. 2107, p. 134-142.
- Brodsky, H., e Hakkert, A. S. (1988) Risk of a road accident in rainy weather. *Accident Analysis & Prevention*, v.20, n.3, p. 161–176. doi:10.1016/0001-4575(88)90001-2
- Caliendo, C., Guida, M., e Parisi, A. (2007) A crash-prediction model for multilane roads. *Accident Analysis and Prevention*. v.39, n. 4, p. 657-670. doi:10.1016/j.aap.2006.10.012
- Cheng, W., Gill, G. S., Sakrani, T., Dasu, M., e Zhou, J. (2017) Predicting motorcycle crash injury severity using weather data and alternative Bayesian multivariate crash frequency models. *Accident Analysis and Prevention*, v. 108(August), p. 172–180. doi:10.1016/j.aap.2017.08.032
- Costa, S. L. (2017) Influência da aderência pneu-pavimento nos conflitos veiculares microssimulados. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.
- DENATRAN (2019). Departamento Nacional de Trânsito. Estatísticas da frota de veículos por UF e tipo de veículo. Disponível em: <https://infraestrutura.gov.br/component/content/article/115-portal-denatran/8552-estat%C3%ADsticas-frota-de-ve%C3%ADculos-denatran.html>. Acesso em: 02 de julho de 2019.
- Edwards, J. B. (1996) Weather-related road accidents in England and Wales: a spatial analysis. *Journal of Transport Geography*, v.4, n.3, p. 201–212. doi:10.1016/0966-6923(96)00006-3
- Edwards, J. B. (1998) The Relationship Between Road Accident Severity and Recorded Weather. *Journal of Safety Research*, v. 29, n.4, p. 249–262. doi:10.1016/S0022-4375(98)00051-6
- Eisenberg, D. (2004) The mixed effects of precipitation on traffic crashes. *Accident Analysis and Prevention*, v.36, n.4, p. 637–647. doi:10.1016/S0001-4575(03)00085-X
- Ferreira, F. F. de. (2009) Fatores de Risco em acidentes envolvendo motocicletas em vias urbanas: a percepção dos condutores profissionais. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Ferreira, S., Lobo, A., Couto, A., e Iglesias, I. (2017) O impacto das condições meteorológicas nos acidentes em meio urbano. XXXI ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Recife, PE.
- Hambly, D., Andrey, J., Mills, B., e Fletcher, C. (2013) Projected implications of climate change for road safety in Greater Vancouver, Canada. *Climatic Change*. v. 116(3-4), p. 613-629. doi:10.1007/s10584-012-0499-0
- Hermans, E., Brijs, T., Stiers, T., e Offermans, C. (2017) The Impact of Weather Conditions on Road Safety Investigated on an Hourly Basis. *Transport Research Institute*, p. 1-17.
- Holz, R. da F. (2014) Realidade da motocicleta no ambiente urbano com foco no Brasil. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Jaroszweski, D., e McNamara, T. (2014) The influence of rainfall on road accidents in urban areas: A weather radar approach. *Travel Behaviour and Society*, v. 1, n.1, p. 15–21. doi:10.1016/j.tbs.2013.10.005
- PMF (2017). Prefeitura Municipal de Fortaleza. Relatório Anual de Segurança Viária de Fortaleza de 2017. Disponível em: <https://www.unifor.br/web/osv/estatisticas>. Acesso em: 02 de julho de 2019.
- Scott, P. P. (1986) Modelling time-series of British road accident data. *Accident Analysis & Prevention*, v. 18, n.2, p. 109–117. doi:10.1016/0001-4575(86)90055-2
- Smith, K. (1982) How seasonal and weather conditions influence road accidents in Glasgow. *Scottish Geographical Magazine*. v. 98, n.2, p. 103-114. doi:10.1080/00369228208736523
- Vasconcellos, E. A. (2013) Risco no trânsito, omissão e calamidade: impactos do incentivo à motocicleta no Brasil. Ed. do Autor. São Paulo.
- Wambold, J. C., e Kulakowski, B. T. (1986) Limitations of Using Skid Number in Accident Analysis and Pavement Management. *Transportation Research Record 1311*, p. 43–50.

Gabriela Gomes Soares Rezende (gabrielagsrezende@gmail.com)

Bruna Mendes Forte (brunaforte1@gmail.com)

Marcos José Timbó Lima Gomes (timbo@det.ufc.br)

Flávio José Craveiro Cunto (flaviocunto@det.ufc.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará. Campus do PICI, s/n – Bloco 703. Fortaleza, CE, Brasil.

Universidade Federal do Cariri, Av. Ten. Raimundo Rocha, Nº 1639, Cid. Universitária, Juazeiro do Norte, CE, Brasil.