



São Paulo, 10 de Novembro de 2019.

Para: Secretaria Municipal de Inovação e Tecnologia
Edital Concurso nº 004/2019 - SMIT
Modalidade: Concurso de Projetos

Equipe: Sérgio Ibarra Spinosa, Amanda Rehbein, Janaina Antonino Pinto

DESAFIO 4: CLIMA E TRÂNSITO

1. APRESENTAÇÃO

Estudos envolvendo o uso dos dados de radar permitem um entendimento da dinâmica do fluxo de veículos nas vias urbanas e as suas relações com diferentes variáveis que impactam a fluidez do trânsito.

Estudos sobre as relações de fluxo de veículos com dados de clima (precipitação, por exemplo) poderão servir como referência para os tomadores de decisão atuarem com mais agilidade nas questões sobre mobilidade e acontecimento de diferentes tipos de acidentes na área urbana.

2. CENÁRIO

A ocorrência de chuvas altera as condições de mobilidade na cidade, gerando maior trânsito e diminuindo as velocidades médias desenvolvidas. Os motivos que provocam essas ocorrências são diversos, como por exemplo, alteração nas condições de visibilidade, alagamentos de pequeno ou grande porte, problemas no sistema de drenagem urbano, quedas de energia que resultam em faróis apagados, entre outros problemas.

A combinação da base de dados de radar com outras bases, como ocorrências climáticas e acidentes de trânsito, permite potencialmente diversas análises relevantes, como estimação do impacto da chuva e outros eventos climáticos em fluxo ou medidas de velocidade média, ou ainda uma potencial relação entre chuva, fluxo e variação nos registros de acidentes.

Há ainda o potencial de buscar entender quais são as variáveis mais impactadas pelos eventos climáticos (tipo de veículo, tipo de via, faixa do radar, etc). Tais análises se justificam pelo potencial de utilidade no planejamento de resposta a dias com previsão de eventos climáticos significativos, na otimização de recursos humanos em tais dias e na prevenção de acidentes.

3. OBJETIVO

Desta forma, esta proposta visou o desenvolvimento de análises e/ou soluções sobre a relação entre os dados de clima, equipamentos de fiscalização eletrônica (radares) e acidentes.

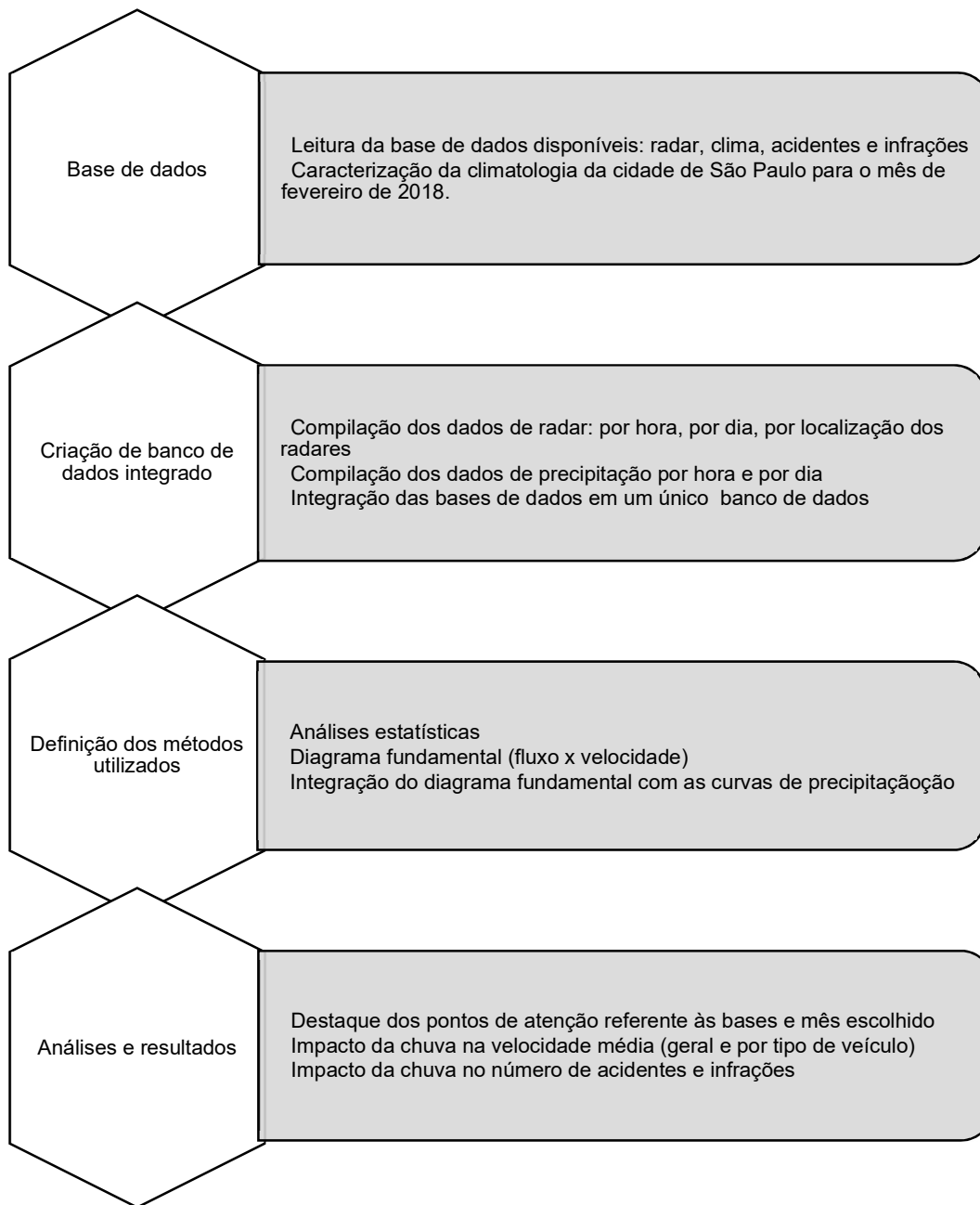
4. ESCOPO DO TRABALHO

Este estudo foi orientado pelas seguintes perguntas:

- Como estimar o impacto da chuva na velocidade média?
- Quais são as variáveis que mais influenciam nesse impacto?
- Qual é a relação entre os dados de radar, chuva e acidentes?
- Qual o impacto da chuva na velocidade média de cada tipo de veículo em circulação (veículos individuais, ônibus, motos, veículos de carga)?
- Quais os tipos de infração ocorrem quando há precipitação? Em quais regiões há maiores ocorrências?

5. METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos deste desafio, os procedimentos metodológicos sintetizados no fluxograma a seguir foram seguidos.



6. ANÁLISES

6.1. Base de dados

As análises das bases de dados geraram alguns pontos de atenção que merecem destaque, a saber:

- Foram analisadas os bancos de dados SQL de registros, base_radares, sensor, WAZE, e Uber. A velocidade utilizada foi da Uber movements e foi relacionada com o banco de dados de OpenStreetMap, como visto na figura 1.

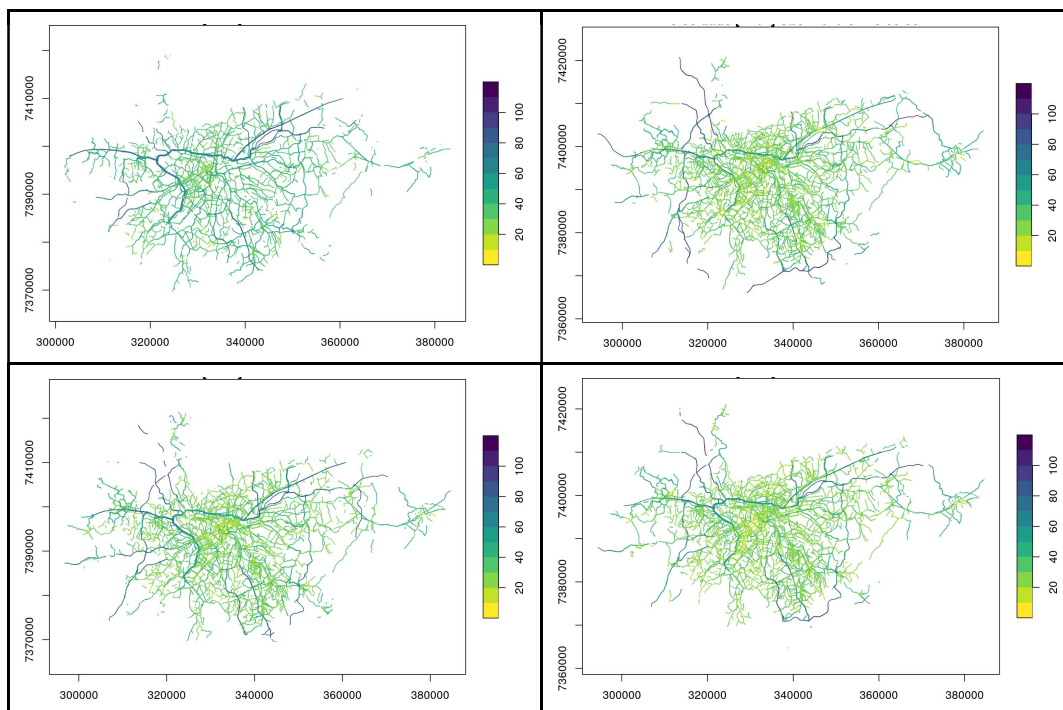
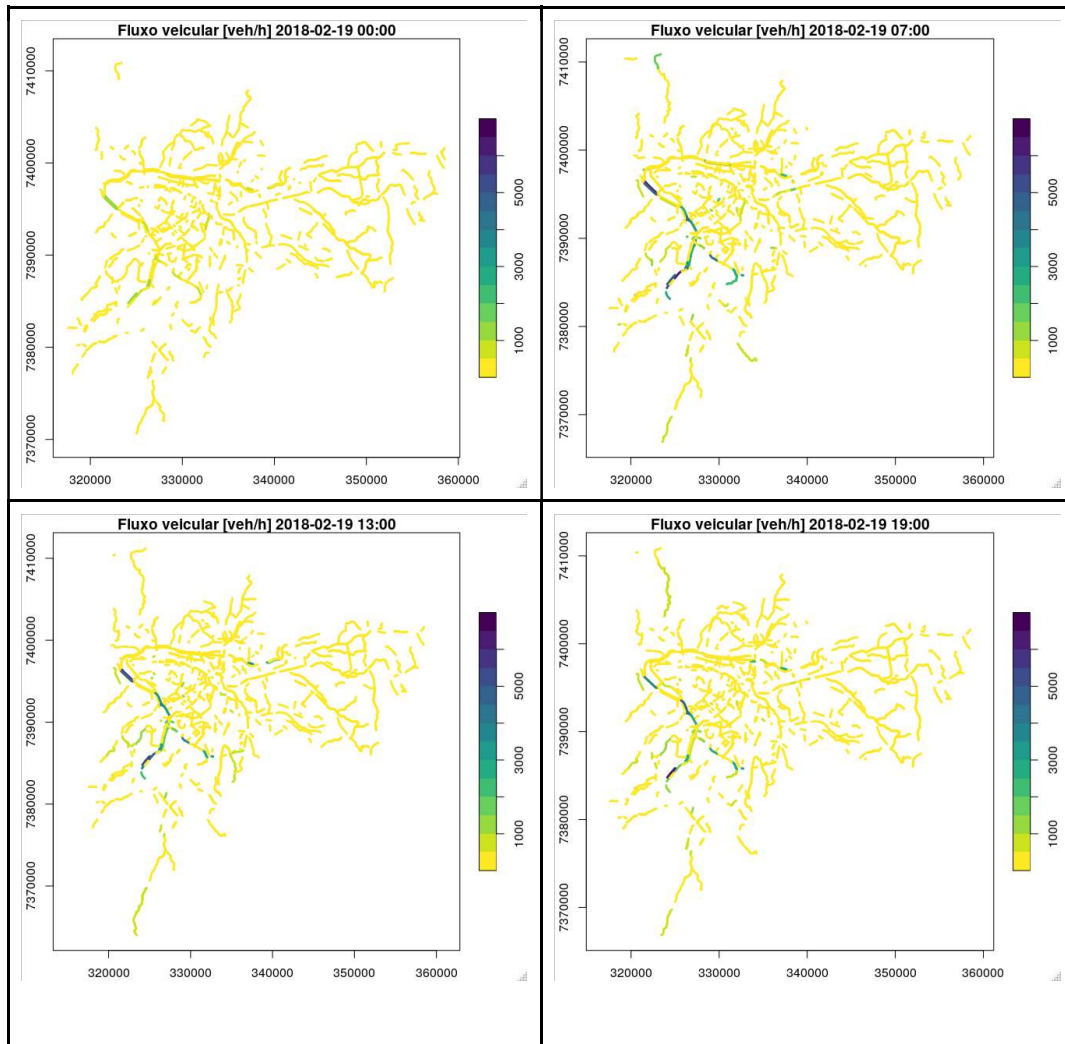
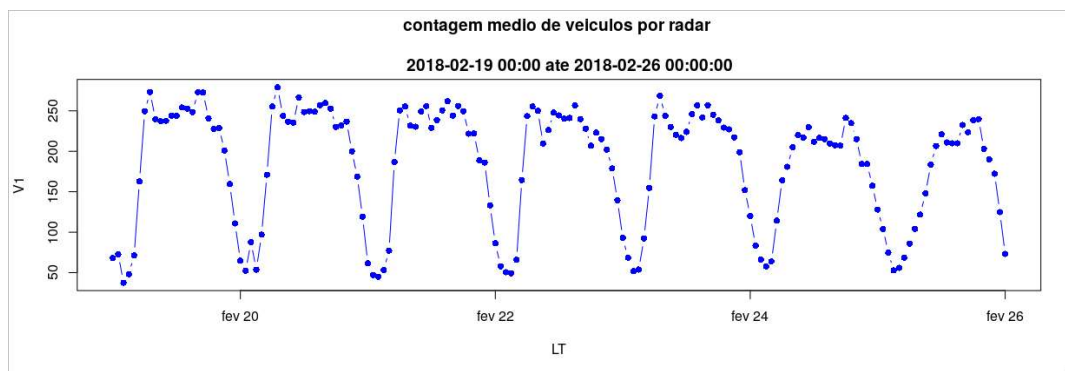


Figura 1. Diferença na velocidade (km/h) dos veículos no dia 19/02/2018 às (a) 00 horas, (b) 08 horas, (c) 14 horas, e (d) 18 horas.

- A base da Uber foi utilizada para o cálculo da velocidade média, pois uma das bases de dados que contém a informação sobre a velocidade média por tipo de veículo possui apenas o dado do dia 01/02/2018;
- A contagem do fluxo veicular foi gerada com base nos registros captados pelos 912 radares especializados na cidade de São Paulo. O perfil diário do comportamento do fluxo de veículos também foi gerado e pode ser visualizado na figura 2.



(a)



(b)

Figura 2. Fluxo de veículos captados pelos radares (a) e perfil diário do fluxo de veículos (b)

- O mês de fevereiro é considerado um mês atípico em termos de precipitação. Além disso, é um mês com o feriado do carnaval, o que gera impactos na quantidade do fluxo de veículo nas vias da cidade. A figura 3 mostra um

acumulado de chuvas significativo no dia 26. Os dados de radar (figura 4) mostram intensas taxas de precipitação neste mesmo dia 26.

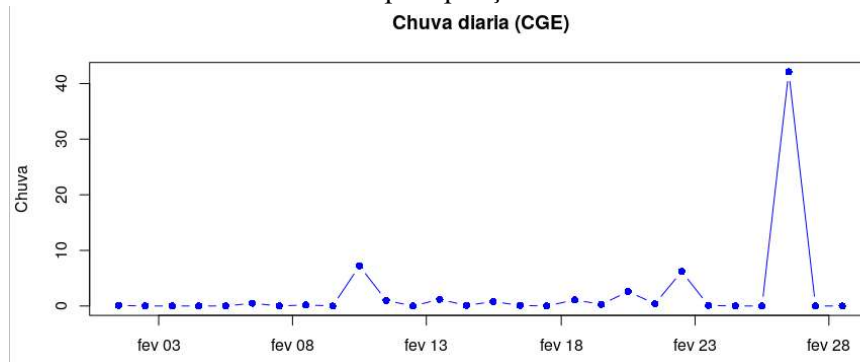


Figura 3. Acumulado diário de chuva (mm/dia) no mês de fevereiro de 2018. Dados: CGE.

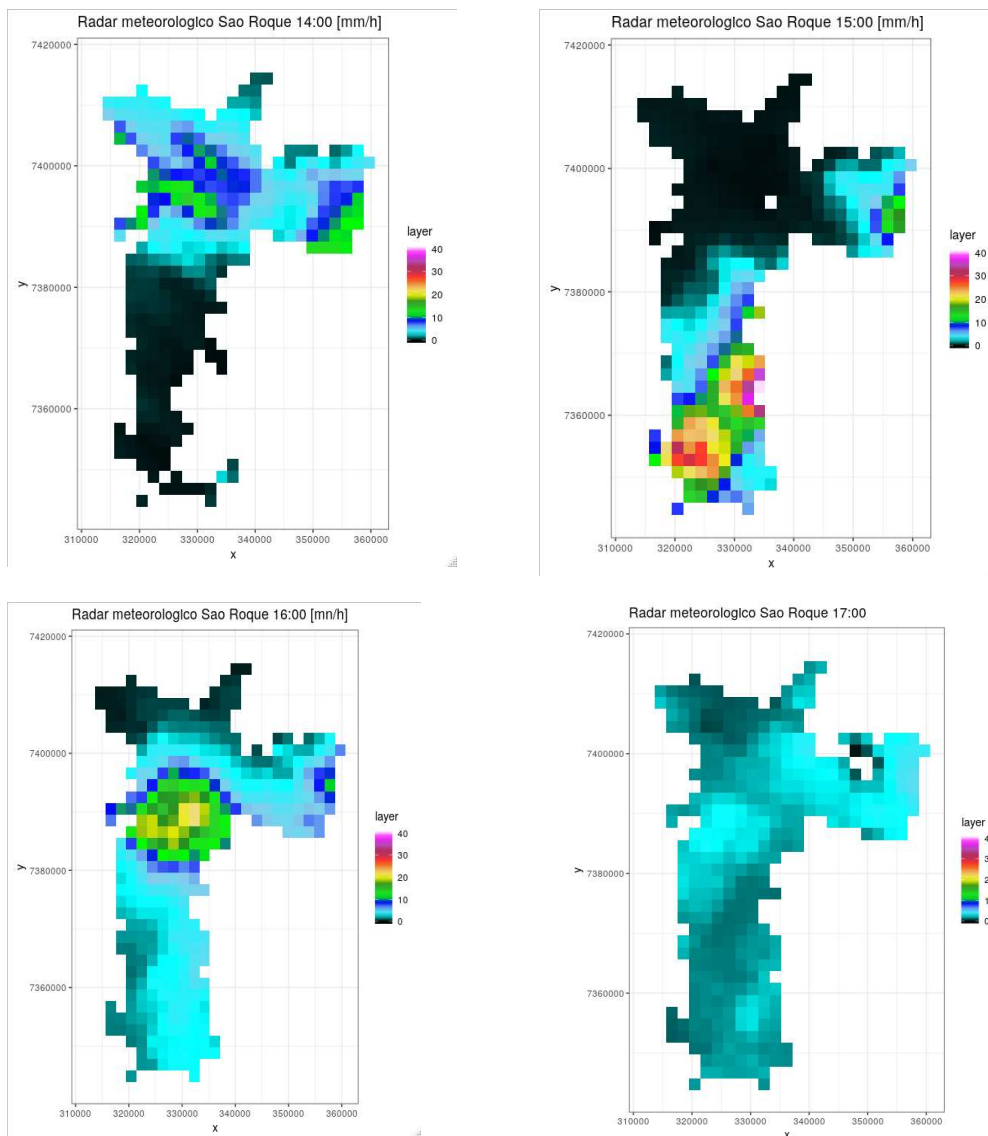


Figura 4. Taxa média de precipitação (mm/h) no dia 26/02/2019 às (a) 14 horas, (b) 15 horas, (c) 16 horas, e (d) 17 horas. Dados: radar meteorológico de São Roque (23°S/47°W).

- A média mensal da precipitação do mês de fevereiro com base na normal climatológica do período de 1995 a 2017 é de 216 mm (veja figura 5) e a precipitação deste mês em 2018 foi de apenas 64 mm, ou seja, 152.4 mm a menos.

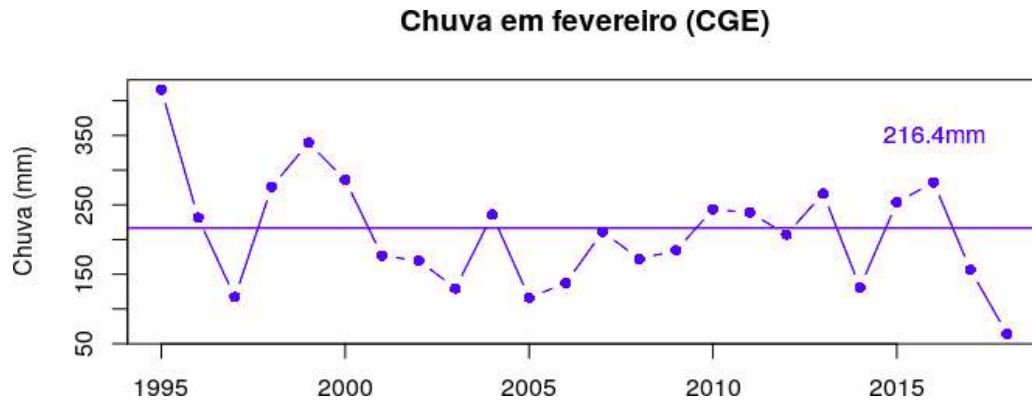


Figura 5. Acumulado de chuva (mm) nos meses de fevereiro de 1995 a 2018. A linha horizontal indica a média do período 1995 a 2017 para o mês de fevereiro (216.4 mm). Dados: CGE.

7. RESULTADOS

7.1. Estimativa do impacto da chuva na velocidade média

7.1.1. Geral

A velocidade média dos veículos nos dias em que ocorre precipitação apresenta uma redução. A figura 6 mostra o diagrama fundamental que relaciona o fluxo de veículos com a velocidade para diferentes tipos de chuva na cidade de São Paulo no mês de fevereiro de 2018.

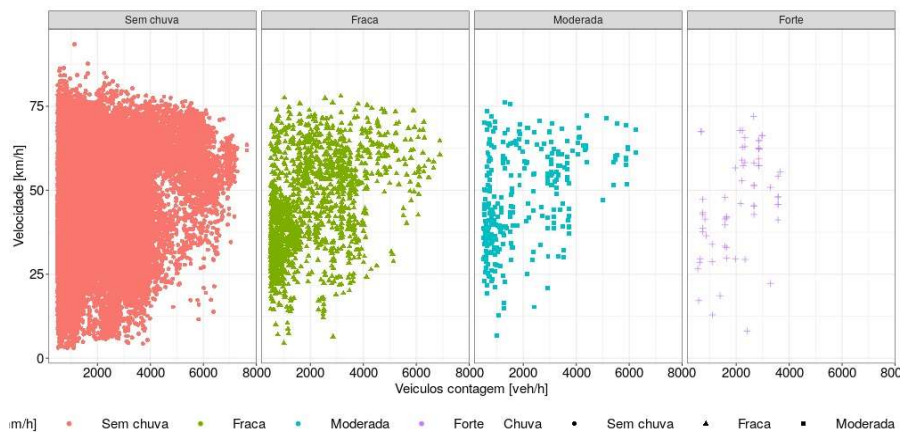


Figura 6: Calibração do Diagrama Fundamental para os três tipos de chuva (fraca, moderada e forte)

7.1.2. Por tipo de veículo

Os diagramas de fluxo permitem visualizar que a medida que a intensidade da chuva aumenta, a velocidade média diminui. Porém, ainda é preciso saber o impacto das variáveis na velocidade. Por isso, utilizou-se uma regressão *stepwise* para testar as associações. Primeiro foi aplicado o teste estatístico de Shapiro para verificar se a velocidade média horária é normal, obtendo-se resultado positivo para todas as velocidades. O modelo utilizado é mostrado a seguir:

$$velocidade = \beta_0 + \beta_1 * chuva + \beta_2 * fluxo + \beta_3 * tipo + \beta_4 * rua + \beta_5 * subprefeitura$$

O resultado desta regressão simples foi estatisticamente significativo para todas as variáveis (tabela 1).

Tabela 1. Resumo dos resultados obtidos com a regressão.

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	5.734e+01	1.839e-01	311.871	< 2e-16	***
chuva	-8.173e-02	1.394e-02	-5.862	4.58e-09	***
veiculos	-1.006e-04	2.534e-05	-3.969	7.21e-05	***
tipo	2.136e+00	7.319e-02	29.188	< 2e-16	***
highwaymotorway_link	-4.260e+00	2.443e-01	-17.438	< 2e-16	***
highwayprimary	-2.567e+01	1.326e-01	-193.623	< 2e-16	***
highwayprimary_link	-3.573e+01	2.449e-01	-145.862	< 2e-16	***
highwaysecondary	-2.853e+01	1.360e-01	-209.733	< 2e-16	***
highwaysecondary_link	-2.835e+01	3.152e-01	-89.963	< 2e-16	***
highwaytertiary	-3.119e+01	1.512e-01	-206.214	< 2e-16	***
highwaytertiary_link	-3.385e+01	5.674e-01	-59.654	< 2e-16	***
highwaytrunk	-1.712e+01	1.338e-01	-127.977	< 2e-16	***
highwaytrunk_link	-2.069e+01	1.832e-01	-112.955	< 2e-16	***
BUTANTA	3.367e+00	1.639e-01	20.547	< 2e-16	***
CAMPO LIMPO	-4.391e-01	1.799e-01	-2.441	0.014644	*
CAPELA DO SOCORRO	1.064e+00	2.231e-01	4.766	1.88e-06	***
CASA VERDE-CACHOEIRINHA	2.171e+00	2.309e-01	9.399	< 2e-16	***
CIDADE ADEMAR	9.987e-01	2.830e-01	3.528	0.000418	***
ERMELENO MATARAZZO	4.970e+00	2.392e-01	20.779	< 2e-16	***
FREGUESIA-BRASILANDIA	8.461e+00	3.323e-01	25.460	< 2e-16	***
GUAIANAZES	4.460e+00	3.363e-01	13.262	< 2e-16	***
IPIRANGA	1.266e+00	1.772e-01	7.147	8.90e-13	***
ITAIM PAULISTA	3.232e+00	2.944e-01	10.978	< 2e-16	***
ITAQUERA	6.936e+00	1.920e-01	36.117	< 2e-16	***
JABAQUARA	5.946e+00	2.948e-01	20.169	< 2e-16	***
JACANA-TREMEMBE	2.220e+00	5.744e-01	3.864	0.000111	***
LAPA	3.249e+00	1.515e-01	21.444	< 2e-16	***
MOOCA	8.186e-01	1.628e-01	5.029	4.94e-07	***
PARELHEIROS	5.682e+00	7.211e-01	7.880	3.30e-15	***
PENHA	6.446e+00	1.764e-01	36.533	< 2e-16	***
PERUS	5.741e+00	4.280e-01	13.416	< 2e-16	***
PINHEIROS	-8.031e-01	1.496e-01	-5.370	7.90e-08	***
PIRITUBA	2.723e+00	1.996e-01	13.645	< 2e-16	***
SANTANA-TUCURUVI	3.172e+00	1.690e-01	18.772	< 2e-16	***
SAO MATEUS	7.557e+00	2.175e-01	34.750	< 2e-16	***
SAO MIGUEL	7.083e+00	2.619e-01	27.040	< 2e-16	***
VILA MARIANA	1.536e+00	1.579e-01	9.729	< 2e-16	***

As subprefeituras descartadas foram Santo Amaro, Sapopemba, Sé, Vila Maria-Vila Guilherme, M'Boi Mirim, Vila Prudente, pois não são significativas.

A partir do resultado conclui-se que a relação entre os dados de radar e chuva diminui a velocidade média devido ao coeficiente $-8.173e-02$, porém o tipo de veículo aumenta a velocidade devido ao coeficiente positivo $2.136e+00$, lembrando que o tipo de veículo varia em 0, 1, 2 ou 3. A figura 7 mostra o histograma dos resíduos do modelo linear da velocidade.

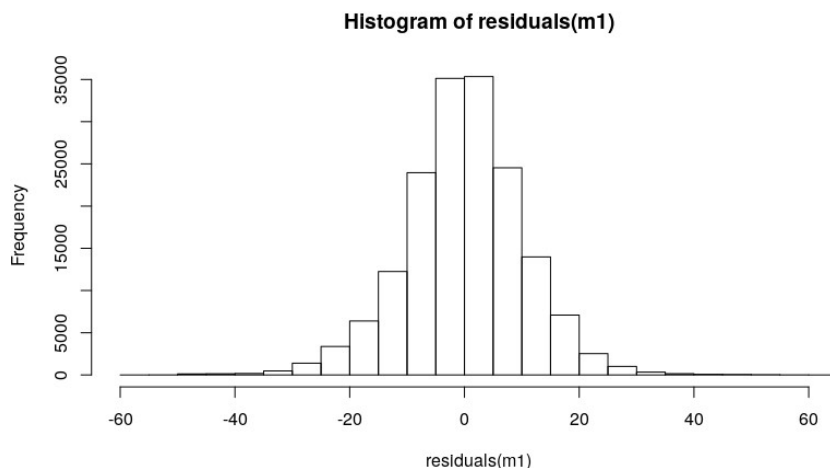


Figura 7: Resíduos do modelo linear de velocidade.

Algumas vezes é necessário saber impacto somente de algumas variáveis e, por isso, torna-se necessário controlar as outras. Para isto são utilizados os modelos gerais aditivos (Woods, 2017). Neste caso, foi usado um modelo semi-paramétrico geral aditivo com as partes não paramétricas como *confounding factors*, ou variáveis que são controladas usando *splines*, que são ajustes automáticos. A formulação utilizada é a seguinte:

$$velocidade = \beta_0 + \beta_1 * chuva + ts(fluxo) + ts(tipo) + ts(rua) + ts(subprefeitura)$$

O resultados mostram que a chuva tem a maior importância reduzindo a velocidade com um coeficiente de $-1.049e^{-01}$, acima do coeficiente da regressão linear simples (tabela 2).

Tabela 2. Resumo dos resultados obtidos com a regressão.

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	3.232e+01	1.809e-01	178.629	< 2e-16 ***
chuva	-1.049e-01	1.811e-02	-5.793	6.93e-09 ***
ts(total)	1.745e-03	4.348e-05	40.143	< 2e-16 ***
ts(tipo)	3.734e+00	1.020e-01	36.614	< 2e-16 ***
ts(highway)	3.905e-02	1.033e-02	3.779	0.000157 ***
ts(NOME)CAMPO LIMPO	-1.111e+00	2.164e-01	-5.137	2.79e-07 ***
ts(NOME)CASA VERDE-CACHOEIRINHA	5.987e+00	2.802e-01	21.370	< 2e-16 ***
ts(NOME)CIDADE ADEMAR	-1.296e+00	3.418e-01	-3.792	0.000149 ***
ts(NOME)ERMELINO MATARAZZO	2.044e+00	2.918e-01	7.004	2.49e-12 ***
ts(NOME)FREGUESIA-BRASILANDIA	1.947e+01	4.000e-01	48.681	< 2e-16 ***
ts(NOME)ITAIM PAULISTA	-8.254e-01	3.583e-01	-2.303	0.021258 *
ts(NOME)ITAQUERA	5.518e+00	2.308e-01	23.906	< 2e-16 ***
ts(NOME)JABAQUARA	6.942e+00	3.530e-01	19.667	< 2e-16 ***

ts (NOME) JACANA-TREMEMBE	-2.960e+00	7.016e-01	-4.219	2.45e-05	***
ts (NOME) LAPA	6.233e+00	1.820e-01	34.254	< 2e-16	***
ts (NOME) MOOCA	4.986e+00	1.956e-01	25.493	< 2e-16	***
ts (NOME) PARELHEIROS	2.289e+00	8.799e-01	2.602	0.009274	**
ts (NOME) PENHA	7.981e+00	2.128e-01	37.498	< 2e-16	***
ts (NOME) PERUS	2.710e+00	5.225e-01	5.186	2.15e-07	***
ts (NOME) PINHEIROS	-7.006e-01	1.790e-01	-3.914	9.07e-05	***
ts (NOME) PIRITUBA	1.957e+00	2.439e-01	8.024	1.03e-15	***
ts (NOME) SANTANA-TUCURUVI	1.990e+00	2.046e-01	9.722	< 2e-16	***
ts (NOME) SAO MATEUS	1.027e+01	2.642e-01	38.860	< 2e-16	***
ts (NOME) SAO MIGUEL	9.353e+00	3.172e-01	29.483	< 2e-16	***
ts (NOME) VILA MARIANA	1.082e+00	1.846e-01	5.860	4.64e-09	***

Desta forma, o histograma dos resíduos mostra um modelo adequado (Figura 8).

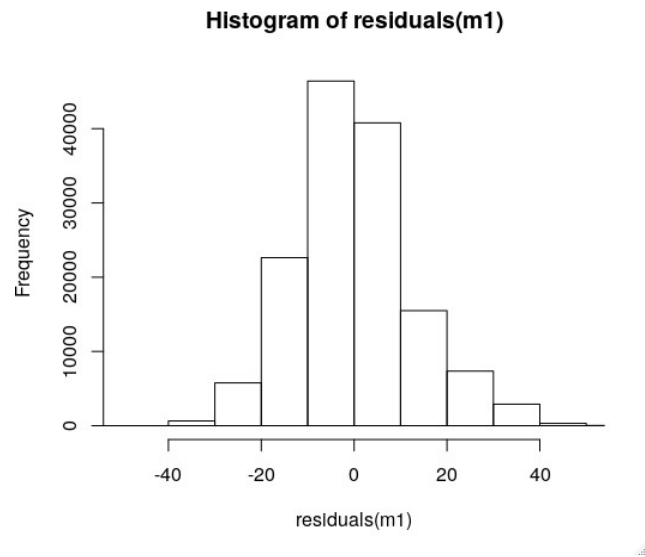


Figura 8: Resíduos do modelo linear de velocidade.

7.2. Quais são as variáveis que mais influenciam nesse impacto?

As variáveis que mais influenciam na velocidade dos veículos são o tipo de via e a localização (subprefeitura). No caso do primeiro modelo, o tipo de rua influencia mais na velocidade, isto é, porque as velocidades classificadas pelo OpenStreetMap estão organizadas por hierarquia com uma velocidade média associada. Por exemplo, as ruas *motorway* possuem velocidades maiores devido sua infraestrutura e desenho. Posteriormente, verificou-se que na subprefeitura se alcançam velocidades maiores devido ao coeficiente $8.461e^{+00}$ na Freguesia-Brasilândia. O caso contrário acontece na prefeitura de Pinheiros, onde se alcança um alto coeficiente negativo ($-8.031e^{-01}$) indicando uma velocidade média menor nesta subprefeitura. Isso faz sentido devido ao alto congestionamento deste bairro. No caso do modelo GAM, o maior coeficiente ocorre no bairro Freguesia-Brasilândia $1.947e^{+01}$, seguido de São Mateus $1.027e^{+01}$, na subprefeitura Pinheiros com $-7.006e^{-01}$.

7.3. Qual é a relação entre dados de radar, chuva e acidentes?

O banco dados disponível apresenta 1002 acidentes em todo o mês de fevereiro de 2018. Como são poucos dados, estes foram agregados por dia, assim como os dados de contagem veicular e chuva. De uma análise de correlação simples é possível ver que os acidentes possuem correlação negativa com chuva e fluxo veicular e positiva com velocidade, ou seja, quanto maior a velocidade, mais acidentes ocorrem. Porém, precisa-se de um banco de dados de acidentes maior e assim realizar um estudo de séries temporais (Figura 9 e 10). Os termos “acc”, “rain”, “vei” e “speed” são os acidentes, chuva, veículos e velocidade, respectivamente.

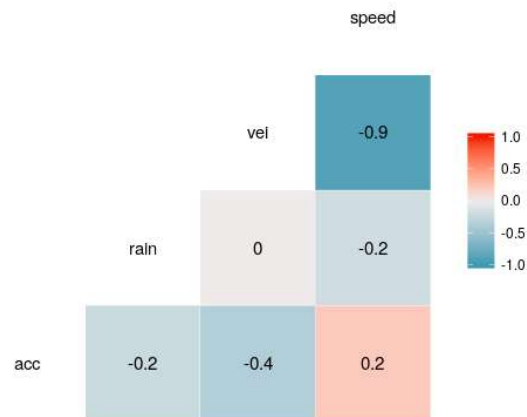


Figura 9: Correlação simples entre variáveis diárias com acidentes em São Paulo.

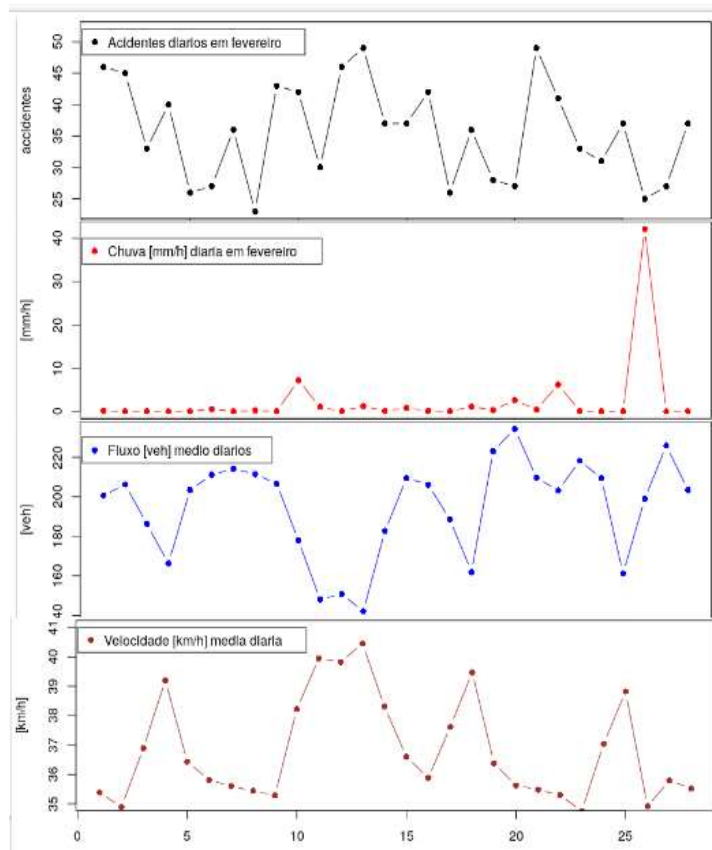
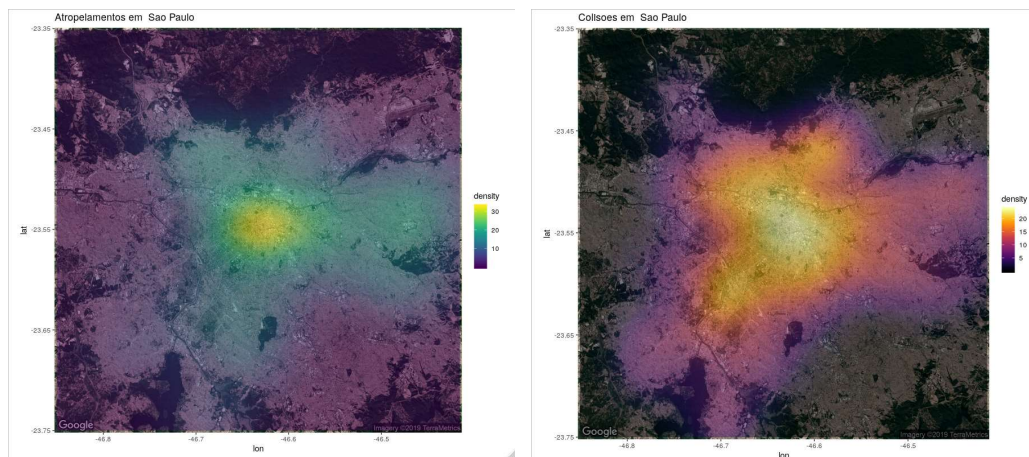


Figura 10. Série temporal diária do mês de fevereiro de 2018 em São Paulo com acidentes.

Finalmente, é possível ver a distribuição espacial por tipo de acidentes.



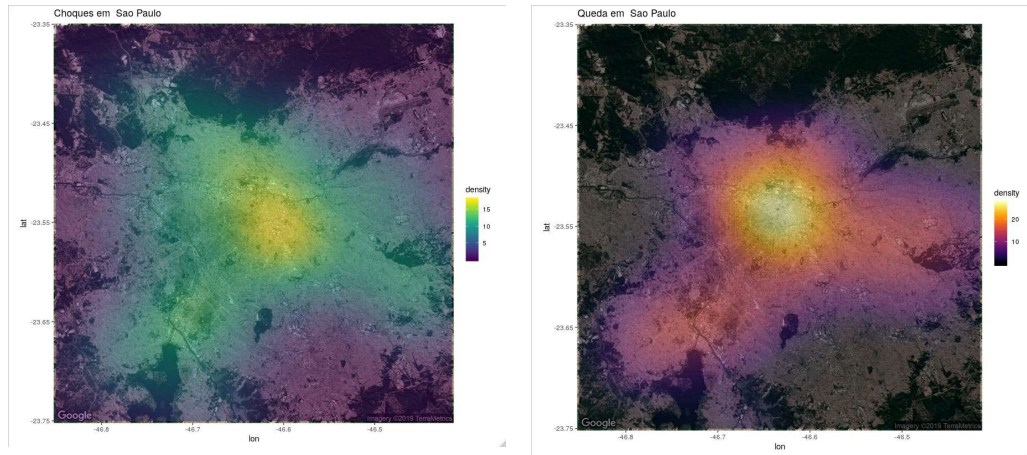


Figura 11. Densidade (a) atropelamentos, (b) colisões, (c) choques e (d) quedas.

7.4. Infração e precipitação

As análises feitas mostraram que os acidentes ocorridos ao longo do mês de fevereiro de 2018 não tiveram uma relação direta com a precipitação.

Ao analisar o banco de dados ‘contagens’ é possível verificar que o número de infrações segue o mesmo padrão do fluxo veicular. Porém, existem *outliers* de infrações nos horários pico de manhã e de tarde. A figura 12 mostra esta informação.

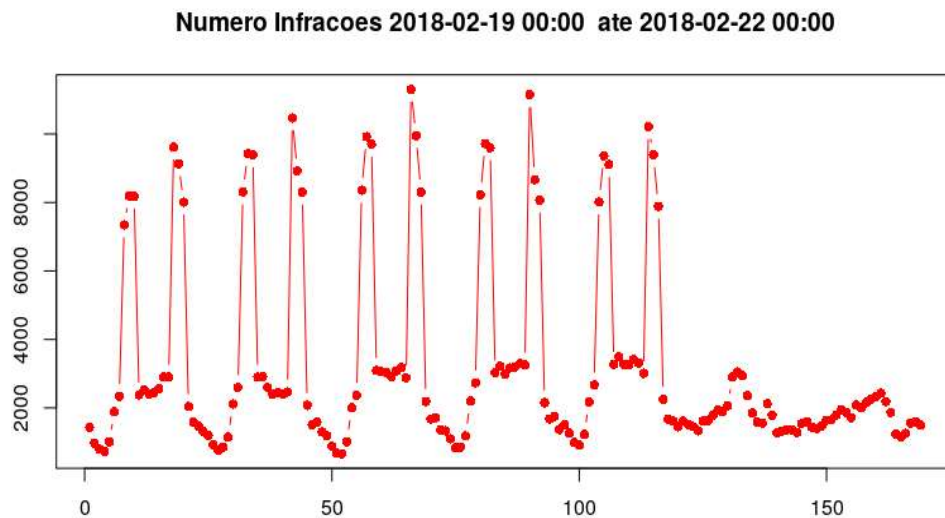


Figura 12. Número de infrações em São Paulo na semana após o carnaval de 2018. Banco de dados: ‘contagens’

7.4.1. Quais os tipos de infração ocorrem quando há precipitação?

Para responder esta pergunta, o banco de dados de infrações ‘SMT_Atuacoes’ foi utilizado. Os dados por hora foram agregados e em seguida filtrou-se para as horas com

acumulados significativos de chuva, que são entre as 14 horas e 17 horas do dia 26 de fevereiro de 2018 (segunda-feira). A tabela 3 mostra esta informação, onde é possível ver que o maior número de infrações acontecem com velocidade máxima em até 20%, seguida da infração “transitar em lugar não permitido”.

Tabela 3. Infrações da segunda-feira, 26 de fevereiro de 2018, entre 14 e 17 horas.

Infração	N
Transitar Em Velocidade Superior A Maxima Permitida Em Ate 20%	588
Transitar Em Local/Horario Nao Permitido Pela Regulamentacao - Rodizio	328
Transitar Na Faixa Ou Via Exclusiva Regulam P/Transp Publ Coletivo Passag	174
Transitar Em Local/Horario Nao Permitido Pela Regulamentacao - Caminhao	165
Transitar Em Velocidade Superior A Maxima Permitida Em Mais De 20% Ate 50%	96
Deixar De Conservar O Veiculo Na Faixa A Ele Destinada Pela Sinalizacao De Regul	53
Avancar O Sinal Vermelho Do Semaforo - Fiscalizacao Eletronica	34
Parar Sobre Faixa De Pedestres Na Mudanca De Sinal Luminoso (Fisc Eletronica)	34
Transitar Em Local/Horario Nao Permitido Pela Regul Estabelecida Pela Autoridade	24
Executar Operacao De Conversao A Direita Em Local Proibido Pela Sinalizacao	12
Executar Operacao De Conversao A Esquerda Em Local Proibido Pela Sinalizacao	6
Transitar Em Velocidade Superior A Maxima Permitida Em Mais De 50%	4

Para comparar com um dia seco, verificou-se as infrações do dia 19 de fevereiro na mesma hora, onde é possível ver que as infrações são similares, com as infrações “transitar em alta velocidade”, seguida de “transitar em local e horário não permitido”. Em 5º lugar, a infração infração “[Transitar Na Faixa Ou Via Exclusiva Regulam P/Transp Publ Coletivo Passageiros](#)”, mas quando se compara com os dados de chuva, essa infração fica na 3ª posição. Isto indica que nos dias de chuva esse tipo de infração ocorre em maior quantidade. Por fim, esta data é próxima ao feriado de carnaval e seria preciso mais dados para chegar a uma conclusão final (Tabela 4).

Tabela 4. Infrações na segunda – feira, dia 19 de fevereiro de 2018 (14:00 às 17:00)

Infraçao	N
Transitar Em Velocidade Superior A Maxima Permitida Em Ate 20%	865
Transitar Em Local/Horario Nao Permitido Pela Regulamentacao - Rodizio	349
Transitar Em Local/Horario Nao Permitido Pela Regulamentacao - Caminhao	178
Transitar Em Velocidade Superior A Maxima Permitida Em Mais De 20% Ate 50%	173
Transitar Na Faixa Ou Via Exclusiva Regulam P/Transp Publ Coletivo Passageiro	161
Deixar De Conservar O Veiculo Na Faixa A Ele Destinada Pela Sinalizacao De Regul	47
Transitar Em Local/Horario Nao Permitido Pela Regul Estabelecida Pela Autoridade	45
Parar Sobre Faixa De Pedestres Na Mudanca De Sinal Luminoso (Fisc Eletronica)	21
Avancar O Sinal Vermelho Do Semaforo - Fiscalizacao Eletronica	19
Transitar Em Velocidade Superior A Maxima Permitida Em Mais De 50%	13

Executar Operacao De Conversao A Direita Em Local Proibido Pela Sinalizacao	12
Executar Operacao De Conversao A Esquerda Em Local Proibido Pela Sinalizacao	7

8. REFERÊNCIAS

Wood, S. N. (2017). Generalized additive models: an introduction with R. Chapman and Hall/CRC.

Dhaliwal, S. S., Wu, X., Thai, J., & Jia, X. (2017). Effects of Rain on Freeway Traffic in Southern California. Transportation Research Record, 2616(1), 69-80.