

## PREVISÃO DE DEMANDA PARA ATENDIMENTOS DE EMERGÊNCIA RELACIONADOS A ACIDENTES DE TRÂNSITO EM GRANDES CIDADES: UM ESTUDO DE CASO NO RIO DE JANEIRO

Thayse Ferrari  
Thiago Faria Pereira  
Marcus Vinicius Oliveira Camara  
Glaydston Mattos Ribeiro  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

### RESUMO

Serviços Médicos de Emergência representam o principal elo entre vítimas de emergência e o sistema de saúde e sua qualidade é mensurada, principalmente, pelo tempo decorrido entre o recebimento da chamada de emergência e a chegada do resgate ao local. Conhecer previamente os locais com registros de acidentes com vítimas facilita o planejamento da operação de resgate, influenciando no tempo de resposta às chamadas. O objetivo deste trabalho é construir um modelo matemático de regressão linear múltipla para subsidiar a previsão de chamadas de emergência relacionadas a acidentes de trânsito. Os resultados da aplicação de um estudo de caso real no Rio de Janeiro indicam que o comprimento de vias de baixa a média velocidade, além do número total de estabelecimentos e de comércios varejistas são capazes de prever a demanda de chamadas de emergência com coeficiente de determinação de 0,915 e assertividade de 89,20% no período testado.

### ABSTRACT

Emergency Medical Services represent the main link between emergency victims and health system and your quality is measured mainly by the time elapsed from the receipt of the emergency call and the arrival of the rescue team at the place. Previous knowledge of locations accidents records with victims is of great use, facilitates the planning of the rescue operations, influencing the response time to calls. The objective of this paper is to construct a mathematical model of multiple linear regression to subsidize the prediction of emergency calls related to traffic accidents. The application results of a real case study in Rio de Janeiro indicate that the length of low to medium speed roads, as well as the total number of establishments and retail business are able to forecast emergency calls demand with a determination coefficient of 0.915 and assertiveness of 89.20% in the period tested.

### 1. INTRODUÇÃO

Serviços Médicos de Emergência, do inglês *Emergency Medical Service* (EMS), que compreendem o componente pré-hospitalar do atendimento de emergência, são considerados elementos críticos dos sistemas de saúde. Tais serviços são acionados a partir do recebimento de chamadas de emergência, que incluem a ocorrência de acidentes de trânsito, e tem como atribuição a realização de atividades básicas de cuidados médicos e de transportes do paciente até uma unidade de saúde, em caso de necessidade. Em geral, tais atendimentos são realizados por equipes de resgate que devem estar posicionadas de maneira estratégica sobre sua região de atuação (Bélangier *et al.*, 2016).

A implantação de equipes de EMS, principal elo entre a vítima carente de atendimento e o sistema de saúde, em locais estratégicos minimiza a possibilidade de ocorrência de significativas perdas socioeconômicas aos familiares da vítima e ao país. Isso porque, uma emergência médica é capaz de influenciar, além de questões familiares e emocionais, questões de ordem econômica. Estima-se que países em desenvolvimento utilizem, anualmente, de 1 a 3% do Produto Interno Bruto (PIB) para cobrir gastos decorrentes de acidentes de trânsito. Tal valor torna-se ainda mais expressivo ao observar que o gasto total do Brasil com saúde pública em 2015, equivale a cerca de 3,9% de seu PIB (BRASIL, 2018a; OPAS, 2018).

Apesar dos altos investimentos envolvidos na recuperação de vítimas de acidentes, os custos relacionados à cadeia de atendimentos médicos somente se justificam quando se obtém sucesso

e o cidadão recobra sua capacidade de produzir (Reichenheim e Werneck, 1994). Caso a operação não transcorra como esperado e não seja possível salvar a vida da vítima, a sociedade como um todo é privada da potencial riqueza gerada por ela. Com isso, o planejamento de EMS que atenderão a essas emergências, mostra-se importante para torná-los eficientes tanto na utilização de recursos públicos quanto no desempenho do atendimento prestado.

No entanto, Kergosien *et al.* (2015) destacam que a natureza incerta das chamadas de emergência, especialmente no que tange ao momento da ocorrência e sua localização, pode incorrer em prejuízos a operacionalização deste tipo de serviço. Dessa forma, entender o comportamento espacial dessas ocorrências e prever sua demanda futura tornam-se ações fundamentais na tomada de decisão. Tais informações são especialmente importantes no planejamento da localização de bases de despacho de veículos de resgate, como destacado por Ferrari *et al.* (2018).

Em face disso, surgem alguns questionamentos: Como se dá a distribuição espacial de ocorrências de acidentes de trânsito em grandes cidades? Quais características em comum possuem os locais onde foram registrados os maiores índices de violência no trânsito? É possível prever de maneira confiável a demanda futura por atendimentos de emergência em decorrência de um histórico de acidentes de trânsito? Frente a isso, o objetivo deste trabalho consiste em construir um modelo matemático, baseado na técnica de regressão, capaz de explicar a distribuição de chamadas de emergência relacionadas a acidentes de trânsito em grandes cidades, para realizar previsões futuras.

Para tanto, pretende-se buscar relações lineares entre o número de ocorrências e características socioeconômicas e demográficas, de uso do solo e da rede viária em cidades de grande porte. Assim, na construção deste modelo utilizou-se dados reais fornecidos pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ), que incluem o histórico de atendimentos de emergência para os anos de 2014 e 2015 no município do Rio de Janeiro, com cerca de 80.581 registros, além de dados socioeconômicos e demográficos disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), relativos à urbanização e ao uso do solo do Instituto Pereira Passos (IPP) e de características da rede viária obtidos no Plano Diretor de Transporte Urbano (PDTU) da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Ao final os resultados encontrados são comparados ao quantitativo de atendimentos realizados no ano de 2016, para testar a capacidade desses modelos em prever demandas futuras para esses atendimentos no município.

A contribuição deste artigo pode ser observada sob três principais vertentes: 1) no planejamento de serviços de saúde, a fim de guiar o investimento público em políticas de prevenção de acidentes de trânsito e direcionar o planejamento dos EMS, visando a diminuição do tempo de resposta às chamadas recebidas; 2) relativo à questões socioeconômicas, visto que o aumento da eficiência dos EMS é capaz de diminuir a gravidade das sequelas adquiridas, o que afeta diretamente a economia do país; e 3) no meio científico, com a criação de um modelo que utiliza dados reais de um estudo de caso para obter as variáveis explicativas deste tipo de evento.

Daqui por diante este artigo está assim dividido: o contexto da pesquisa é apresentado na Seção 2, com uma breve revisão da literatura sobre as possíveis variáveis explicativas para acidentes de trânsito com vítimas; a Seção 3 expõe o procedimento metodológico, que contempla a descrição da área de estudo, a definição das variáveis e os critérios para a construção do modelo de regressão; a validação do modelo proposto é apresentada na Seção 4; na Seção 5 são expostos e discutidos os resultados obtidos; por fim, na última seção são apresentadas as considerações finais do trabalho.

## 2. VARIÁVEIS EXPLICATIVAS PARA ATENDIMENTOS DE EMERGÊNCIA DECORRENTES DE ACIDENTES DE TRÂNSITO

Os atendimentos pré-hospitalares devem ser realizados da maneira mais eficiente possível, uma vez que o primeiro quinto de hora (“*First Hour Quintet*”) está relacionado a condições críticas para as quais o sistema EMS pode ter um impacto significativo no resultado (Krafft *et al.*, 2003; Østerås *et al.*, 2017). Segundo relatórios do Ministério da Saúde (BRASIL, 2015; BRASIL, 2018b), a terceira maior causa de morte na população geral brasileira em 2013 foram os acidentes de trânsito, responsáveis por cerca de 13,3% dos casos. Ao considerar apenas a população mais jovem, de 5 a 19 anos de idade, a situação é ainda mais crítica, já que os acidentes de trânsito foram as principais causas de óbitos nessa faixa etária. Resultados semelhantes foram observados no ano de 2015.

Em geral, esses percentuais se repetem quanto ao motivo de atendimento pré-hospitalar nas cidades brasileiras. Marques *et al.* (2011) destacam que 40% das ocorrências atendidas no ano de 2008 pelo Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) de Porto Alegre estavam relacionadas a eventos de causas externas, em sua maioria acidentes de trânsito. Proporções semelhantes foram encontradas para outros municípios brasileiros, a exemplo de Rio Verde, em Goiás, onde quase 60% dos atendimentos motivados por causas externas ocorreram em decorrência de acidentes de trânsito (Cabral e Souza, 2008; da Silva e Shama, 2018; Bonfim *et al.* 2018; Lopes *et al.* 2018).

Os diversos tipos de emergência atendidos por EMS tratam-se de eventos espaciais aleatórios, uma vez que sua ocorrência não pode ser representada apenas por uma distribuição irregular espacial (Levine *et al.*, 1995). Diante disso, acredita-se que fatores relativos à própria população e ao ambiente onde vive podem contribuir para a ocorrência desses eventos. Como busca-se um modelo regional que descreva geograficamente o comportamento desses eventos, pode-se afirmar que se tratam de eventos espacialmente dependentes.

O sistema de transporte em geral não apresenta um comportamento homogêneo no que tange à segurança. Com isso, a diversidade observada entre a população de motoristas, as características das estradas e as condições meteorológicas e de tráfego, além de outros aspectos, levam à heterogeneidade nas frequências de acidentes de trânsito. Diante disso, a previsão de demanda seria capaz de identificar os locais de alto risco de ocorrências de acidentes, além de contribuir com a identificação de fatores que poderiam melhorar esses índices (Massaro *et al.*, 2018).

No que tange aos atendimentos relacionados à acidentes de trânsito, a WHO (2004) destaca que a exposição da população ao risco desse tipo de evento é uma composição de quatro elementos: socioeconômicos, demográficos, de uso do solo e de planejamento das vias. No que se refere aos fatores socioeconômicos e demográficos, nota-se em análises históricas uma maior incidência desses acidentes na população jovem, entre 25 e 49 anos, e do sexo masculino (Bacchieri e Barros, 2011; DETRAN-RJ, 2016).

Quanto às características relacionadas ao uso do solo, percebe-se uma maior ocorrência de eventos deste tipo em regiões de caráter comercial, com maior volume de veículos motorizados e de pedestres (Cardoso e Goldner, 2007; Alves e Junior, 2012). Com isso, acredita-se que zonas de comércio ou de grande oferta de serviços, bem como aquelas que englobam outros tipos de polos geradores de viagem são mais propensas à ocorrência de acidentes de trânsito.

Já no último elemento abordado, o planejamento de vias, nota-se uma maior exposição ao risco de acidentes em função da largura, da quantidade de faixas e da velocidade máxima permitida

nas vias, além da densidade de interseções e de semáforos. No entanto, vale ressaltar que pode haver divergências entre essas variáveis explicativas encontradas em função do tipo de acidente. Enquanto vias com maior velocidade permitida podem explicar a ocorrência de colisões frontais e capotamentos, ocorrências de atropelamentos são detectadas com maior intensidade em vias de menor velocidade permitida, as quais são mais utilizadas por pedestres e ciclistas, usuários mais vulneráveis do sistema (Greibe, 2003; Ferrari *et al.*, 2016; Lovegrove e Sayed, 2006).

### 3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O procedimento metodológico deste artigo pode ser dividido, basicamente em três etapas. A primeira etapa consiste na fundamentação do modelo a ser desenvolvido. Para tanto, realizou-se uma análise espacial dos atendimentos realizados nos anos-base na área de aplicação do estudo de caso, com o auxílio dos *softwares* de informações georreferenciadas QGIS 3.6.1 e TransCAD 5.0. Posteriormente foram coletados dados, para compor as variáveis, e organizados em uma base confiável e no nível de segregação desejado, por bairros do município.

A segunda etapa do processo considera a construção do modelo matemático. A partir da base de dados obtida, foram realizadas análises do coeficiente  $R^2$  e de correlação entre as variáveis independentes e a variável dependente com o auxílio da ferramenta de análise de dados do *software* Microsoft Excel 2013. De acordo com o grau de relacionamento entre as variáveis, realizou-se o descarte de algumas delas. Variáveis com coeficiente de correlação superiores a 0,75 foram consideradas para integrarem a análise de regressão linear. Por fim realizou-se a regressão linear múltipla para diversos cenários obtendo-se, assim, equações de previsão de demanda.

Por fim, a etapa final compreende a validação do modelo e sua aplicação. As equações obtidas foram validadas ao testar se os valores obtidos com a previsão de ocorrências foram compatíveis com os dados reais dos anos de 2014 e 2015. Por fim, as equações consideradas mais adequadas foram aplicadas à área de estudo para o ano de 2016 (último ano com dados de ocorrências disponíveis para comparação) e, por meio da comparação dos resultados foi possível testar o modelo desenvolvido.

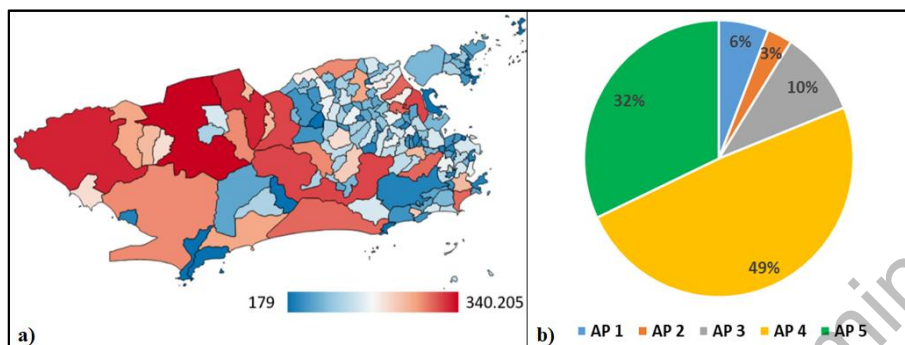
#### 3.1 Estudo de caso

O município escolhido como área de estudo deste trabalho é o Rio de Janeiro, a segunda maior metrópole nacional, além de ser a cidade brasileira mais conhecida no exterior. Com população estimada em 6,6 milhões de habitantes no ano de 2018, apresenta distribuição populacional irregular, especialmente em função de características naturais, com presença de florestas em uma topografia acidentada. Atualmente, seu território é segmentado em 162 bairros, nível de segregação considerado neste estudo, e cinco Áreas de Planejamento (AP).

A cidade do Rio de Janeiro vivenciou, nas últimas décadas, uma expansão urbana direcionada à zona oeste, que contempla as AP 4 e 5, região pouco explorada no início da expansão populacional. Apesar de atualmente concentrar os bairros mais populosos do município, tal região ainda é a que possui maior espaço físico disponível para crescimento, o que demonstra instabilidade em seu perfil demográfico, como pode-se observar na Figura 1.

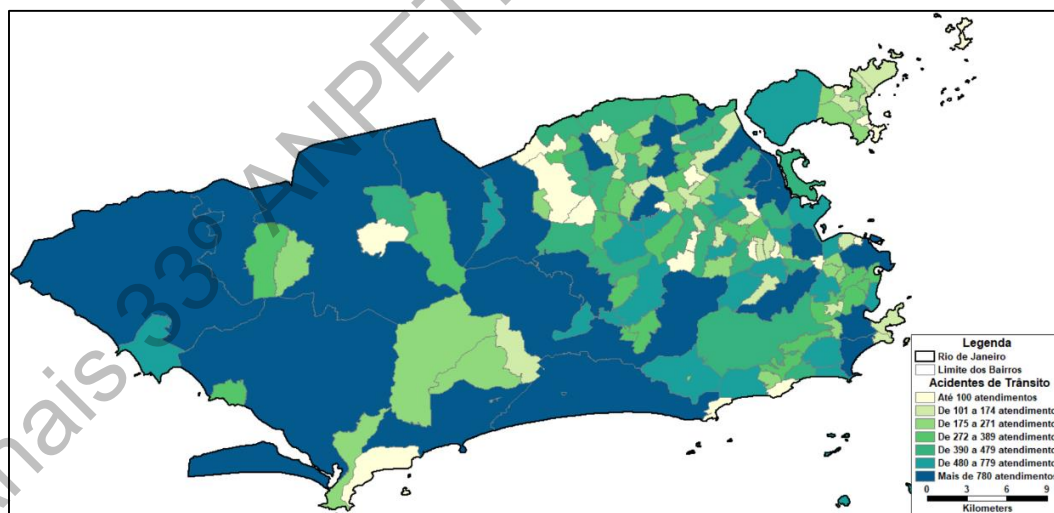
O sistema de atendimento de emergência que atua na cidade é o GSE/SAMU. O Grupamento de Socorro de Emergência (GSE) foi ativado em 1986 pelo CBMERJ e conta com mais de 3,5 milhões de socorros efetuados. No ano de 2009 o SAMU-Rio foi incorporado pelo GSE/CBMERJ e desde então há uma operação integrada na capital fluminense. Sua infraestrutura compreende 36 Unidades de Bombeiro Militar (UBM), as quais servem como bases de despacho para as equipes

de resgate. A comunicação entre a população e o sistema GSE/SAMU é realizada por meio dos prefixos 192 e 193, ambos direcionados ao Centro de Operações GSE/SAMU (COGS), onde cada solicitação de socorro passa por uma triagem de acordo com níveis de prioridade.



**Figura 1:** (a) Distribuição populacional por bairros e (b) taxa de crescimento populacional por Área de Planejamento do Rio de Janeiro, segundo o Censo 2010.

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos junto ao CBMERJ e são referentes aos registros de atendimentos realizados. A base de dados inclui a data do atendimento, o endereço registrado, a UBM utilizada, o local do atendimento (residência, via pública ou escola, por exemplo) e a identificação do tipo de evento em caso de acidentes de trânsito. Os registros foram feitos entre os dias 01 de janeiro de 2014 e 31 de dezembro de 2015, período em que contabilizou-se 80.581 ocorrências relacionadas a acidentes de trânsito. Ao analisar os dados, percebe-se que 51,2% correspondem a ocorrências registradas no ano de 2014 e 48,8% no ano seguinte. A distribuição espacial desses atendimentos ao longo do território da cidade pode ser observada na Figura 2.



**Figura 2:** Distribuição dos atendimentos por acidentes de trânsito no Rio de Janeiro no período.

Como citado na Seção 1, a base de dados composta por possíveis variáveis explicativas inclui: dados socioeconômicos e demográficos do IBGE; dados referentes à urbanização e ao uso do solo do IPP; e, dados das características da rede viária obtidos do PDTU da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Vale ressaltar que os dados obtidos pelo IPP são fornecidos por bairros da cidade, o que justifica a escolha do nível de segregação adotado para este estudo.

### 3.2 Definição de variáveis

A variável dependente abordada neste problema, ou seja, aquela que o modelo de previsão pretende estimar a partir dos valores de outras variáveis, corresponde ao número de ocorrências de acidentes de trânsito atendidas pelo CBMERJ. Com a finalidade de eliminar possíveis inconsistências na base de dados consolidada, foram descartadas informações incompletas, referentes a bairros não oficiais, além de informações incoerentes. Ao fim desta etapa, a base de dados apresentou 80.252 registros no período de estudo, o que corresponde a 99,6% das ocorrências.

Já as variáveis independentes, aquelas que explicam as variações no número de acidentes nos bairros da cidade, foram obtidas junto a diferentes bases de dados, o que pode significar que não exista disponibilidade de todos os dados almejados para o período de tempo do estudo. Diante disso, optou-se por variáveis com frequência de coleta de dados similares aos períodos disponíveis da variável dependente, ou então que possuíssem modelos de projeção que possibilitassem sua atualização para o período do estudo.

**Tabela 1:** Resultados da análise de correlação e  $R^2$ .

Variável	Descrição	Grupo de Variáveis	2014		2015	
			$\rho$	$R^2$	$\rho$	$R^2$
$ENE_{res}$	Número de residências ligadas à rede elétrica no bairro		0,83	0,68	0,82	0,67
$EST_{ali}$	Estabelecimentos ligados à alimentação no bairro		0,75	0,56	0,75	0,56
$EST_{ata}$	Estabelecimentos de comércio atacadista no bairro		0,68	0,46	0,69	0,47
$EST_{com}$	Estabelecimentos de comércio varejista no bairro		0,87	0,76	0,87	0,76
$EST_{ens}$	Estabelecimentos de ensino no bairro	Urbanização e Uso do Solo	0,87	0,76	0,88	0,78
$EST_{med}$	Estabelecimentos médicos no bairro		0,68	0,46	0,67	0,45
$EST_{tot}$	Total de estabelecimentos no bairro		0,77	0,59	0,78	0,61
$TER_{area}$	Área total de terrenos no bairro		0,60	0,36	0,58	0,34
$TER_{qnt}$	Quantidade de terrenos no bairro		0,54	0,29	0,53	0,28
$URB_{area}$	Área urbana do bairro		0,76	0,58	0,75	0,56
$EMP_{com}$	Total de empregos formais em comércio no bairro		0,73	0,53	0,74	0,55
$EMP_{tot}$	Total de empregos formais no bairro		0,62	0,39	0,65	0,42
$ENE_{tot}$	Total de energia elétrica consumida no bairro		0,80	0,64	0,78	0,61
$REN_{sem}$	Pessoas sem renda		0,71	0,51	0,72	0,51
$REN_{1m}$	Pessoas com renda mensal até 1 Salários Mínimos (SM)	Socioeconômico	0,60	0,36	0,61	0,37
$REN_{1a3m}$	Pessoas com renda mensal de 1 a 3 SM		0,68	0,47	0,70	0,48
$REN_{3a5m}$	Pessoas com renda mensal de 3 a 5 SM		0,73	0,53	0,73	0,54
$REN_{5a10m}$	Pessoas com renda mensal de 5 a 10 SM		0,62	0,38	0,60	0,36
$REN_{10+}$	Pessoas com renda mensal acima de 10 SM		0,50	0,25	0,46	0,21
$MAS_{0a30}$	Homens com até 30 anos residente no bairro		0,69	0,48	0,70	0,49
$MAS_{30a59}$	Homens entre 30 e 59 anos residente no bairro		0,77	0,59	0,77	0,59
$MAS_{60+}$	Homens com mais de 60 anos residente no bairro		0,77	0,59	0,76	0,58
$POP_{tot}$	População total residente no bairro	Demográfico	0,75	0,56	0,75	0,56
$POP_{0a30}$	População com até 30 anos residente no bairro		0,70	0,49	0,70	0,49
$POP_{30a59}$	População entre 30 e 59 anos residente no bairro		0,77	0,59	0,77	0,59
$POP_{60+}$	População com mais de 60 anos residente no bairro		0,73	0,53	0,73	0,53
$VIA_{10a39}$	Comprimento de vias com velocidade entre 10-39 km/h		0,85	0,71	0,85	0,72
$VIA_{40a60}$	Comprimento de vias com velocidade entre 40-60 km/h	Rede Viária	0,82	0,68	0,80	0,64
$VIA_{61a80}$	Comprimento de vias com velocidade entre 61-80 km/h		0,55	0,30	0,56	0,31

Uma pré-seleção das variáveis explicativas foi realizada com base na correlação linear de Pearson (Alves e Junior, 2012). A força dessa correlação é mensurada por meio do coeficiente  $\rho$ , que pode assumir valores entre -1,0 e 1,0. O primeiro indica que a variação nos valores de uma acompanha variação de sinal inverso nos valores da outra. Já quando  $\rho$  atinge o valor de 1,0, a variação apresenta mesmo sentido, ou seja, uma correlação linear perfeita entre duas variáveis observadas. Observou-se, ainda, a relação desse coeficiente com o coeficiente de determinação  $R^2$ , medida de ajustamento da regressão linear para cada variável. Os resultados da escolha de variáveis a

serem testadas no modelo podem ser visualizados na Tabela 1. Diante dos resultados da análise preliminar, optou-se por desconsiderar variáveis que apresentaram correlação linear inferior a 0,75 para a etapa de regressão linear múltipla. Dessa forma, espera-se que os grupos de variáveis testados na regressão linear múltipla apresentem valores de  $R^2$  mais elevados.

### 3.3 Construção do modelo

Durante a construção do modelo foram realizadas diversas análises de regressão linear múltipla, que consideravam, além das variáveis com maior potencial de representação (correlação linear superior a 0,75) para o período analisado, os grupos de variáveis explicativas. Assim como na etapa de definição de variáveis, tais análises levaram em consideração o apoio do *software* Microsoft Excel. Os resultados dos testes realizados foram analisados observando-se:

- O coeficiente de determinação  $R^2$ , que indica a proporção de variação nos valores da variável dependente explicada pela regressão linear. Espera-se que o coeficiente seja o mais próximo possível de 1;
- A probabilidade de significância  $p - valor$ , que mede a probabilidade de se obter o resultado estatístico mesmo que não haja relação entre as variáveis. Adotou-se como padrão o valor máximo de 5% para garantir a relação entre as variáveis;
- O coeficiente das variáveis independentes na equação obtida, que indica se há relação linear positiva ou negativa entre a variável e o número de ocorrências. Como na correlação de Pearson todas as variáveis apresentaram coeficientes positivos em relação à quantidade de eventos, quaisquer ajustes com coeficiente negativo foram descartados; e
- O gráfico das estimativas observado por meio da comparação entre os resultados observados com a regressão e a quantidade real de ocorrências registradas.

Entre esses quesitos de análise, o teste de  $p - valor$  e a adequação do sinal do coeficiente da variável independente na equação foram considerados critérios eliminatórios, rejeitando-se os testes em que não foram atendidos. Já os demais critérios foram utilizados para efeito de comparação, na busca do ajuste mais adequado.

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Sete equações foram construídas com base nas especificações anteriores. Da primeira até a quinta equação, considerou-se variáveis consistentes para os dois anos analisados. As equações 1 a 4 são compostas, respectivamente, por variáveis relacionadas à urbanização e uso do solo, socioeconômicas, demográficas e rede viária, enquanto a equação 5 está relacionada a variáveis bem-conceituadas para os dois anos. A sexta equação considera as variáveis mais consistentes para o ano de 2014. Já a sétima está relacionada às variáveis de grande aderência para 2015. As equações obtidas, assim como seu  $R^2$  e seu índice de assertividade, podem ser observadas na Tabela 2.

Pelas equações apresentadas na Tabela 2 percebe-se a importância de variáveis como comprimento de vias com velocidade máxima permitida entre 10 e 39 km/h ( $VIA_{10a39}$ ) e entre 40 e 60 km/h ( $VIA_{40a60}$ ), além do número total de estabelecimentos comerciais ( $EST_{tot}$ ), ambos presentes em quatro das sete equações apresentadas, o máximo que poderiam aparecer. Vale destacar que as equações que contam com as variáveis ligadas à rede viária, como já se esperava, apresentam maiores coeficientes  $R^2$  e índices de assertividade.

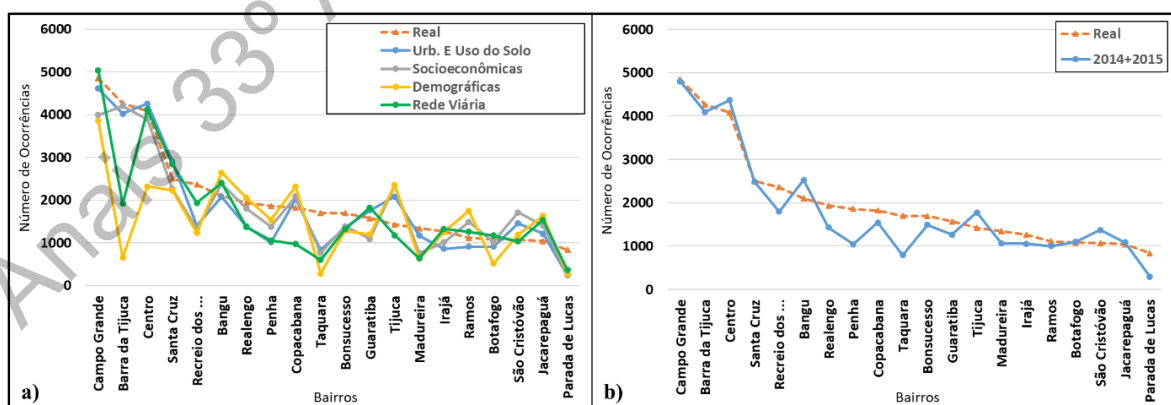
O gráfico da Figura 3(a), mostra a comparação entre as estimativas das Equações 1 a 4, que levam em conta, individualmente, cada um dos grupos de variáveis, com os atendimentos reais

realizados no ano de 2014. Tais equações foram validadas para os 20 bairros mais representativos em número de ocorrências no período, onde é possível observar uma grande divergência entre as estimativas e os dados reais. Nenhuma das equações avaliadas nesse gráfico apresentou curvas similares ou próximas às curvas reais dos bairros analisados. Além disso, nota-se valores intermediários para o  $R^2$ , onde os piores resultados foram obtidos junto à Equação 3, que considera apenas variáveis demográficas.

Já na Figura 3(b), é apresentada o comportamento da Equação 5, que considera uma análise conjunta dos dados de 2014 e 2015. Pela Tabela 2, é possível observar que tal equação é composta por variáveis que traduzem o perfil de urbanização e uso do solo, além do aspecto viário dos bairros. Com isso, nota-se uma melhora considerável no  $R^2$ , apesar de constatar-se uma redução no percentual de assertividade. Tal queda é confirmada ao analisar o gráfico, que indica uma grande variação, com poucos pontos de linhas coincidentes. Em todas as equações da Figura 3 os valores foram subestimados para a maior parte dos bairros, o que representa uma falha na previsão de demanda deste tipo de serviço. Se as equipes fossem dimensionadas a partir da previsão obtida por essas equações, possivelmente um grande número de chamadas deixaria de ser atendida.

**Tabela 2:** Equações explicativas para acidentes de trânsito.

Equação	Referência	Expressão	$R^2$	Assertividade
1	Urbanização e Uso do Solo	$28,501 + 0,244 \times URB_{area} + 0,003 \times ENE_{res} + 0,048 \times EST_{tot} + 0,263 \times EST_{com}$	0,902	89,10%
2	Socioeconômicas	$-3,107 + 0,002 \times EMP_{tot} + 0,005 \times EMP_{com} + 0,002 \times ENE_{tot} + 0,010 \times REN_{sem}$	0,868	101,19%
3	Demográficas	$14,075 + 0,015 \times MAS_{30a59} + 0,050 \times MAS_{60+}$	0,611	94,62%
4	Rede Viária	$11,417 + 10,131 \times VIA_{10a39} + 18,036 \times VIA_{40a60}$	0,804	95,63%
5	2014+2015	$17,231 + 0,040 \times EST_{tot} + 0,217 \times EST_{com} + 9,302 \times VIA_{10a39} + 4,657 \times VIA_{40a60}$	0,911	93,41%
6	2014	$13,106 + 0,034 \times EST_{tot} + 0,249 \times EST_{com} + 9,249 \times VIA_{10a39} + 6,202 \times VIA_{40a60}$	0,915	95,12%
7	2015	$18,813 + 0,078 \times EST_{tot} + 10,141 \times VIA_{10a39} + 4,280 \times VIA_{40a60}$	0,908	92,65%

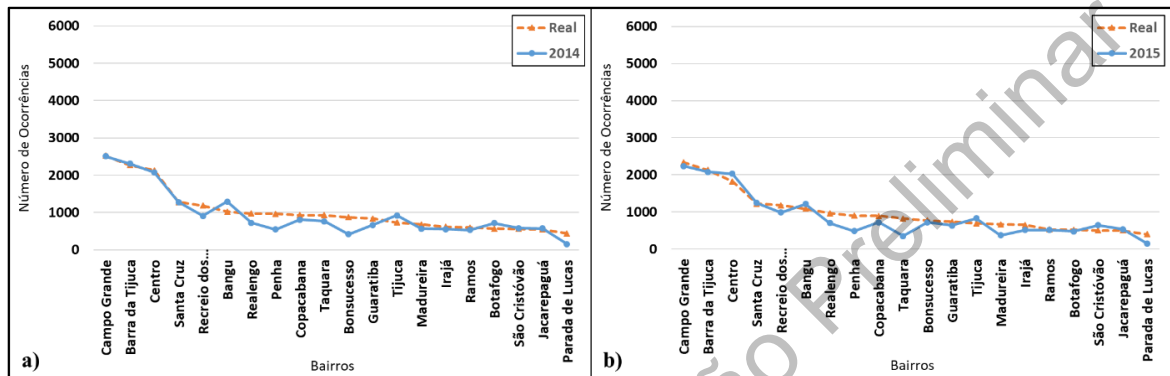


**Figura 3:** Comparação para os 20 bairros mais relevantes com as Equações 1 a 4 (a) e 5 (b).

O gráfico da Figura 4(a), mostra a comparação entre as estimativas da Equação 6 com os atendimentos reais realizados em 2014. Fazem parte desta equação variáveis que traduzem o perfil de urbanização e uso do solo, além do aspecto viário dos bairros, como o número total de estabelecimentos comerciais ( $EST_{tot}$ ), número de estabelecimentos comerciais de varejo ( $EST_{com}$ )

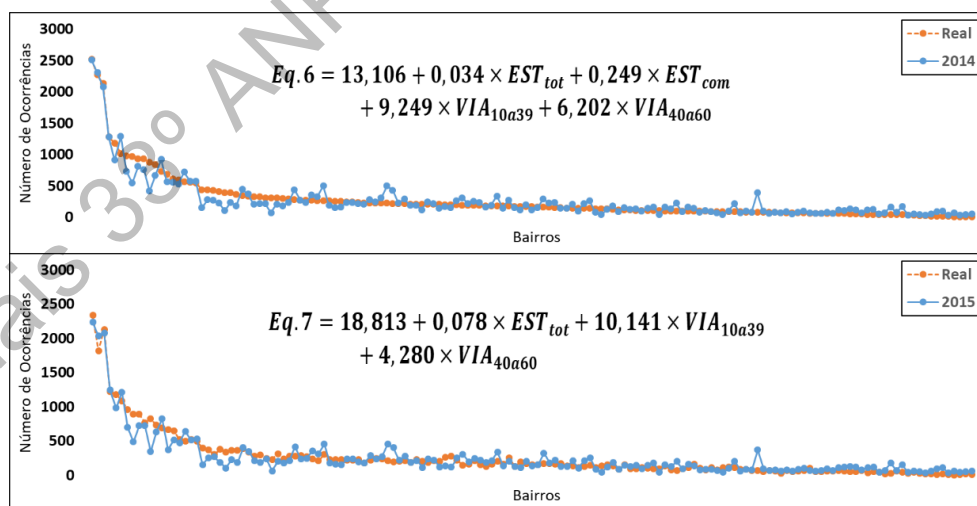


e comprimento de vias com velocidade máxima permitida entre 10 e 39 km/h ( $VIA_{10a39}$ ) e 40 e 60 km/h ( $VIA_{40a60}$ ). A validação desta equação indicou que as linhas se sobrepõem em grande parte do gráfico e para os bairros onde isso não acontece, verifica-se uma pequena variação na quantidade de ocorrências. Da mesma forma, a Figura 4(b) mostra a comparação feita para a Equação 7 em relação às ocorrências registradas em 2015. As variáveis presentes nessa equação são as mesmas da Equação 6, à exceção de  $EST_{com}$ . Apesar do  $R^2$  desta equação continuar elevado (0,908), houve queda no percentual de assertividade, que pode ser observada pelas variações mais representativas em bairros onde as linhas do gráfico não estão sobrepostas.



**Figura 4:** Comparação para os 20 bairros mais relevantes com as Equações 6 (a) e 7 (b).

Diante destes gráficos é possível observar que variáveis relacionadas à rede viária e a urbanização e uso do solo, que indicam a existência de polos geradores de viagens, são capazes de contribuir de maneira significativa para a adequação do modelo à realidade local. Dessa maneira, nota-se que as Equações 6 e 7 apresentaram os melhores resultados gerais, quando se considera em paralelo ao  $R^2$ , o percentual de assertividade e o comportamento dos gráficos. Sendo assim, a ampliação das estimativas dessas equações para todos os bairros do município pode ser observada na Figura 5.



**Figura 5:** Número previsto e real de ocorrências de acidentes de trânsito por bairro do RJ.

Ao considerar todos os bairros do município, é possível observar que as duas equações apresentam características semelhantes no comportamento de suas curvas, com algumas divergências em relação aos dados reais em determinados bairros. No entanto, ainda assim é possível afirmar que as previsões foram capazes de traduzir o comportamento da distribuição

de eventos de acidentes de trânsito nos bairros do município no período estudado. Frente a isto, a etapa final deste trabalho visa testar a capacidade desses modelos em prever demandas futuras para os atendimentos relacionados a acidentes de trânsito no município.

As Equações 6 e 7 foram aplicadas com variáveis relativas ao ano de 2016 com o intuito de confirmar sua confiabilidade junto aos dados mais recentes disponíveis sobre atendimentos de emergência no município do Rio de Janeiro. Vale ressaltar que, como as variáveis relacionadas à rede viária não estão disponíveis para este ano e considerando que este tipo de informação não sofre alterações relevantes em um curto espaço de tempo, optou-se por utilizar os mesmos valores disponíveis para os anos de 2014 e 2015. As projeções obtidas com as Equações 6 e 7 para os 10 bairros mais representativos, assim como para o total geral da cidade, no ano de 2016 podem ser visualizadas na Tabela 3.

**Tabela 3:** Projeções de ocorrências de acidentes de trânsito para 2016.

Bairro	Eq. 6	Variação %		Bairro	Eq. 7	Variação %	
		2014	2015			2014	2015
Campo Grande	2.492	-1,1	+6,3	Campo Grande	2.238	-12,6	-4,3
Barra da Tijuca	2.283	+0,6	+20,3	Centro	2.035	-4,6	-4,8
Centro	1.998	-6,6	-6,8	Barra da Tijuca	2.029	-11,8	+10,3
Bangu	1.284	+20,6	+15,5	Santa Cruz	1.240	-3,2	+1,4
Santa Cruz	1.273	-0,5	+3,9	Bangu	1.211	+15,8	+10,4
Tijuca	903	+18,8	+23,3	R. dos Bandeirantes	982	-20,5	-20,2
R. dos Bandeirantes	903	-31,1	-30,7	Tijuca	820	+10,7	+15,5
Copacabana	783	-18,9	-14,1	Taquara	723	-28,4	-6,2
Taquara	751	-23,5	-2,2	Copacabana	713	-30,5	-25,2
Realengo	721	-35,3	-33,5	Realengo	695	-40,3	-38,4
<b>Total</b>	<b>13.990</b>	<b>-4,3</b>	<b>+2,2</b>	<b>Total</b>	<b>12.686</b>	<b>-10,1</b>	<b>-3,2</b>
<b>Total Geral</b>	<b>40.744</b>	<b>-0,9</b>	<b>+3,9</b>	<b>Total Geral</b>	<b>39.001</b>	<b>-5,4</b>	<b>-0,4</b>

Ambas as alternativas apontaram que o número de ocorrências, tanto para os bairros mais representativos, quanto para o município de forma geral, apresenta tendência de queda em relação ao ano de 2014. No entanto, os percentuais foram mais expressivos para a Equação 7. Para o ano de 2015, a Equação 6 indica um crescimento de ocorrências, enquanto a Equação 7 indica que houve redução.

Sabendo que as características da rede se mantiveram as mesmas, pode-se creditar a redução observada na maioria dos casos ao fechamento de estabelecimentos, comerciais ou de outros tipos de serviços. A redução acentuada no número de estabelecimentos deve-se, especialmente, à crise econômica que se instalou na cidade após o ano 2014. Entretanto, como este tipo de variável é bem menos significativa do que àquelas relacionadas à rede viária, a previsão de redução de chamadas de emergência por acidentes de trânsito é menos expressiva do que para ocorrências gerais.

Segundo o anuário do Corpo de Bombeiros para o ano de 2016, foram efetuados 121.476 atendimentos na cidade do Rio de Janeiro, dos quais 45.675 foram em decorrência de acidentes de trânsito (CBMERJ, 2016). Como os dados oficiais de 2016 não estão disponíveis no nível de segregação de bairros, a comparação para a validação das equações foi realizada sobre o total de eventos na cidade. Os resultados das comparações realizadas podem ser observados na Tabela 4. A assertividade dessas projeções foi obtida em relação ao quantitativo real divulgado pelo CBMERJ.

Observando os percentuais de assertividade obtidos percebe-se que a equação que se manteve mais fiel à realidade, com 89,20% de assertividade, foi a Equação 6, o que indica que esta é a equação mais confiável. Apesar disso, nota-se uma queda considerável neste percentual, já que durante o processo de validação a mesma apresentou uma assertividade de 95,12%. No entanto,

é importante destacar que o ano de 2016 foi um ano atípico para a cidade do Rio de Janeiro, visto que a mesma sediou os Jogos Olímpicos de Verão neste período, o que fez com que a cidade recebesse um número expressivo de turistas. Tal aumento de pessoas circulando pela cidade pode ter impactado no número de ocorrências relacionadas a acidentes de trânsito registradas no período, fazendo com que este percentual diminuísse.

**Tabela 4:** Comparações dos resultados para o ano de 2016.

Equação	Projeção 2016	Real 2016	Assertividade (%)
Eq. 6	40.744	45.675	89,20
Eq. 7	39.001		85,39

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo propôs a utilização de equações matemáticas para auxiliar na previsão de demandas relativas a atendimentos de emergência em bairros do município do Rio de Janeiro. Foram apresentadas equações lineares entre o número de ocorrências registradas e determinadas características socioeconômicas e demográficas, de uso do solo e da rede viária, determinando, com isso, variáveis explicativas para a ocorrência de acidentes de trânsito.

Por meio da validação das equações propostas tornou-se possível explicar a distribuição atual dos acidentes de trânsito que deram origem a chamadas de emergência nos bairros do Rio de Janeiro. Além disso, as equações obtidas permitiram prever o comportamento futuro dessas ocorrências, servindo de base para guiar o planejamento dos EMS e o investimento público em políticas de prevenção a esse tipo de evento. Observou-se a confiabilidade das equações obtidas ao comparar seus resultados com o número real de atendimentos realizados pelo CBMERJ nos anos observados.

As equações validadas apontaram que fatores como o comprimento total de vias com velocidade máxima permitida entre 10 e 39 km/h, o comprimento total de vias com velocidade máxima permitida entre 40 e 60 km/h, o número de estabelecimentos de comércio varejista e número total de estabelecimentos no bairro se mostraram diretamente relacionados ao atendimento de ocorrências que envolvem acidentes de trânsito.

Este trabalho limitou-se em avaliar apenas variáveis cujos dados estivessem disponíveis para os anos de estudo. Contudo, observou-se que outras variáveis independentes poderiam ser capazes de explicar as ocorrências de emergência a auxiliar na previsão de demanda deste tipo de evento nos bairros do Rio de Janeiro. Dessa forma, uma sugestão para trabalhos futuros é adotar novos dados de diferentes fontes sempre que os mesmos estiverem disponíveis em bases confiáveis. Dessa forma pode-se comprovar se realmente há influência de outras variáveis nos modelos preditivos.

### Agradecimentos

O presente artigo foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo apoio financeiro na elaboração deste trabalho e ao CBMERJ por disponibilizar os dados utilizados na pesquisa.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, P.; e Junior, A. A. R. (2012) Análise de correlação entre acidentes de trânsito, uso e ocupação do solo, polos geradores de viagens e população em Uberlândia-MG. *Revista dos Transportes Públicos*, v. 34, p. 55-70.
- Bacchieri, G.; e Barros, A. J. (2011) Acidentes de trânsito no Brasil de 1998 a 2010: muitas mudanças e poucos resultados. *Revista de Saúde Pública*, v. 45, p. 949-963.
- Bélangier, V.; Kergosien, Y.; Ruiz, A.; e Soriano, P. (2016) An empirical comparison of relocation strategies in real-time ambulance fleet management. *Computers & Industrial Engineering*, v. 94, p. 216-229.

- Bonfim, C. V. D.; Silva, A. G. S. D.; Araújo, W. M. D.; Alencar, C.; e Furtado, B. M. A. (2018) Análisis de la distribución espacial de los accidentes de transporte terrestre atendidos por el Servicio Móvil de Urgencia (SAMU-192), en un municipio de la región nordeste de Brasil. *Salud colectiva*, v. 14, p. 65-75.
- BRASIL (2015) Saúde Brasil 2014: uma análise da situação de saúde e das causas externas. Secretaria de Vigilância em Saúde, Ministério da Saúde, Brasília, DF.
- BRASIL (2018a) Aspectos fiscais da saúde no Brasil. Secretaria do Tesouro Nacional, Ministério da Economia, Brasília, DF.
- BRASIL (2018b) Saúde Brasil 2017: uma análise da situação de saúde e os desafios para o alcance dos objetivos de desenvolvimento sustentável. Secretaria de Vigilância em Saúde, Ministério da Saúde, Brasília, DF.
- Cabral, A. P. D. S.; e Souza, W. V. D. (2008) Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU): análise da demanda e sua distribuição espacial em uma cidade do Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 11, p. 530-540.
- Cardoso, G.; e Goldner, L. G. (2007) Desenvolvimento e aplicação de modelos para previsão de acidentes de trânsito. *Transportes*, v. 15, n. 2, p. 43-51.
- CBMERJ (2016) Anuário CBMERJ: 2016. Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- DETRAN-RJ (2016) Anuário Estatístico do DETRAN-RJ: 2016. Departamento de Trânsito do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- Ferrari, T.; Camara, M. V. O.; Nassi, C. D.; e Ribeiro, G. M. (2016) Análise das variáveis explicativas para ocorrências de acidentes de trânsito em âmbito urbano: um estudo de caso no município do Rio de Janeiro. Anais do XIX Congresso Latinoamericano de Transporte Público y Urbano, CLATPU, Montevideo, p. 1-11.
- Ferrari, T.; Camara, M. V. O.; Nassi, C. D.; Ribeiro, G. M.; Costa Junior, R. R.; Ribeiro Júnior, C.; e Bilate, A. (2018) Analysis of the location of rescue ambulance dispatch bases: a case study in Rio de Janeiro, Brazil. *Geographical Analysis*, v. 50, n. 4, p. 397-421.
- Greibe, P. (2003) Accident prediction models for urban roads. *Accident Analysis & Prevention*, v. 35, n. 2, p. 273-285.
- Kergosien, Y.; Bélanger, V.; Soriano, P.; Gendreau, M.; e Ruiz, A. (2015) A generic and flexible simulation-based analysis tool for EMS management. *International Journal of Production Research*, v. 53, n. 24, p. 7299-7316.
- Krafft, T.; Castrillo-Riesgo, L. G.; Edwards, S.; Fischer, M.; Overton, J.; Robertson-Steel, I.; e König, A. (2003) European Emergency Data Project (EED Project) EMS data-based Health Surveillance System. *The European Journal of Public Health*, v. 13, p. 85-90.
- Levine, N.; Kim, K. E.; e Nitz, L. H. (1995) Spatial analysis of Honolulu motor vehicle crashes: I. Spatial patterns. *Accident Analysis & Prevention*, v. 27, n. 5, p. 663-674.
- Lopes, A. L. C.; de Almeida, A. C.; Couto, K. G.; Santos, N. M.; Ferreira, J. C.; Silva, A. C. R. ... e Nina, C. H. (2018) Prevalência dos atendimentos por acidentes de trânsito realizados pelo serviço de atendimento a urgências no município de Rio Verde, Goiás. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 16, n. 1, p. 1-7.
- Lovegrove, G. R.; e Sayed, T. (2006) Macro-level collision prediction models for evaluating neighbourhood traffic safety. *Canadian Journal of Civil Engineering*, v. 33, n. 5, p. 609-621.
- Marques, G. Q.; da Silva Lima, M. A. D.; e Ciconet, R. M. (2011) Agravos clínicos atendidos pelo Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) de Porto Alegre-RS. *Acta paulista de enfermagem*, v. 24, n. 2, p. 185-191.
- Massaro, C. M.; Ribeiro, R. L.; Nogueira Nardez, N.; Larocca, A. P. C.; e Andrade, M. (2018) Análises dos acidentes de trânsito em um trecho de rodovia de pista dupla da BR-116/SP: Abordagem segundo o programa “Pare” e o “Highway Safety Manual-HSM”. *Transportes*, v. 26, n. 4, p.144-157.
- OPAS (2018) Salvar vidas: pacote de medidas técnicas para a segurança no trânsito. Organização Pan-Americana da Saúde, Brasília, DF.
- Østerås, Ø.; Heltne, J. K.; Vikenes, B. C.; Assmus, J.; e Brattebø, G. (2017) Factors influencing on-scene time in a rural Norwegian helicopter emergency medical service: a retrospective observational study. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*, v. 25, n. 1, p. 1-11.
- Reichenheim, M. E.; e Werneck, G. L. (1994) Anos potenciais de vida perdidos no Rio de Janeiro, 1990. As mortes violentas em questão. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 10, p. 188-198.
- Silva, A. M. A.; e Shama, S. F. M. S. (2018) Epidemiologia do trauma em atendimentos do SAMU Novo Hamburgo/RS no primeiro trimestre de 2015. *Saúde e Pesquisa*, v. 10, n. 3, p. 539-548.
- WHO (2004) World Report on Road Traffic Injury Prevention. World Health Organization, Geneva.

---

Thayse Ferrari (thayseferrari@pet.coppe.ufrj.br)

Thiago Faria Pereira (thiagofariap@gmail.com)

Marcus Vinicius Oliveira Camara (marcus@pet.coppe.ufrj.br)

Glaydston Mattos Ribeiro (glaydston@pet.coppe.ufrj.br)

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Av. Horácio Macedo, 2030, Bloco H, Sala 106, Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ, Brasil